



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA PT PUPUK SRIWIJAYA
AKIBAT PENAMBAHAN BEBAN PABRIK P2B DAN
GENERATOR 1X35 MW**

Maya Prananda Sari
NRP 2211 100 058

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.
Ir. R. Wahyudi

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

***Study of Protection Coordination in PT Pupuk Sriwijaya
due to The Addition of P2B Factory and 1x35 MW
Generator***

Maya Prananda Sari
NRP 2211 100 058

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. R. Wahyudi

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

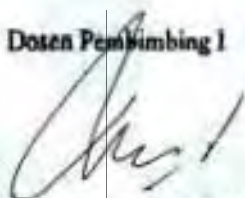
**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA PT PUPUK
SRIWIJAYA AKIBAT PENAMBAHAN BEBAN PABRIK P2B
DAN GENERATOR 1X35 MW**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

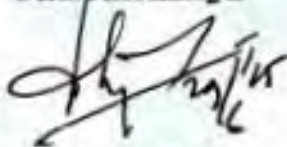
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT.
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Ir. R. Wahyudi
NIP. 195102021976031003



STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA PT PUPUK SRIWIJAYA AKIBAT PENAMBAHAN BEBAN PABRIK P2B DAN GENERATOR 1X35 MW

Nama : Maya Prananda Sari
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing II : Ir. R. Wahyudi

ABSTRAK

Dalam dunia industri, kontinuitas proses produksi sangat ditentukan oleh kontinuitas ketersediaan listrik, kontinuitas tersebut dapat dijaga dengan menggunakan sistem proteksi tenaga listrik yang efektif dan selektif. Pada pabrik kimia, selain menjaga kontinuitas proses produksi, kontinuitas kelistrikan juga dibutuhkan untuk menjaga keamanan akibat bahan-bahan berbahaya yang dijadikan bahan dasar produksi. Seiring berjalannya waktu, PT. Pupuk Sriwijaya (Pusri) Palembang melakukan ekspansi dengan membangun pabrik baru yakni Pabrik P2B dengan generator 1x35 MW. Keadaan tersebut membuat *setting* koordinasi proteksi pada PT. Pusri harus mengalami perubahan dari keadaan sebelumnya untuk tetap menjaga faktor selektifitas dan efektifitas. Oleh karena itu, harus dilakukan suatu studi koordinasi proteksi untuk meningkatkan keandalan sistem proteksi pada PT. Pusri Palembang. Sehubungan dengan hal tersebut, tugas akhir ini difokuskan untuk membahas studi koordinasi proteksi untuk mengetahui *setting* rele yang tepat setelah dilakukan penambahan beban Pabrik P2B dan Generator 1x35 MW. Analisis aliran daya dan hubung singkat diperlukan untuk mendapatkan koordinasi proteksi yang tepat. *Gradingtime* antar rele diatur sesuai standar IEEE 242 yaitu 0,2 detik hingga 0,3 detik dan *time delay* dikoordinasikan sehingga rele tersebut dapat bekerja dengan tepat. Hasil koordinasi proteksi ini dapat melindungi dari gangguan berupa arus beban lebih dan arus hubung singkat.

Kata kunci : koordinasi, proteksi, penambahan beban, *setting* rele.

----Halaman ini sengaja dikosongkan----

Study of Protection Coordination in PT Pupuk Sriwijaya due to The Addition of P2B Factory and 1x35 MW Generator

Name : Maya Prananda Sari
Advisor 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor 2 : Ir. R. Wahyudi

ABSTRACT

In the industrial world, the continuity of the production is determined by the availability of electrical continuity, it can be filled by using the electric power system protection to fulfill the factor of effectiveness and selective. In chemical factory, the reability and continuity have a great effect of their safety to keep the hazardous materials which used for the basics of production. Now a day, PT. Pupuk Sriwijaya (Pusri) Palembang expanding their factory by build a new plant with a generator 1x35 MW. These circumstances make PT. Pusri have to change the setting of protection coordination from its previous state to keep the selectivity and effectiveness factors. A study of protection coordination is needed to improve the reliability of the protection system in PT. Pusri Palembang. This thesis is focused on discussing the protection coordination studies to determine the appropriate relay setting after the addition of plant load P2B and 1x35 MW Generator. The analysis of power flow and short circuit protection is required to obtain the proper coordination. Grading time between relay set according to the IEEE 242 standard, namely 0.2 seconds to 0.3 seconds and a time delay relay is coordinated so that it can work like we needed. The protection coordination have to protect from disruption of current overload and short circuit current.

Keywords: coordination, protection, increase the load, setting relay

----Halaman ini sengaja dikosongkan----

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia yang tak terkira berupa kekuatan, kesabaran, dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Studi Koordinasi Proteksi Akibat Penambahan Beban Pabrik P2B dan Generator 1x35 MW”**

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu :

1. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Bapak Ir. R. Wahyudi selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
2. Bapak Dr. Eng. Made Yulistya Negara ST., MSc., Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT., Bapak Daniar Fahmi ST., MT., selaku dosen penguji.
3. Segenap keluarga, terutama kedua orang tua penulis, Ir. Prasetyo Wahyudie, M.T dan Dr. Vita Ratnasari, Ssi, M.Si dan kedua adik tercinta, Talitha Puspita Sari serta Nadya Permata Sari yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa untuk keberhasilan penulis.
4. Seluruh rekan asisten LIPIST “B-204” angkatan 2010, 2011, 2012, dan 2013, atas dukungan, semangat, bantuan, kebersamaan, dan kerjasama selama ini.
5. Armand Dwi Parama atas dukungan, doa, semangat dan perhatian yang terus menerus diberikan.
6. Seluruh rekan e-51 "ELVN", atas kebersamaan dan kerjasamanya selama 4 tahun ini.
7. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS, para dosen, karyawan, serta rekan-rekan mahasiswa atas dukungan, masukan, dan kerjasamanya selama masa kuliah dan proses pengerjaan tugas akhir.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Mei 2015

Penulis

----Halaman ini sengaja dikosongkan----

DAFTAR ISI

Halaman

Halaman Judul	
Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	
Lembar Pengesahan	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Tujuan dan Manfaat	2
1.4 Metodologi	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN	5
2.1 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Gangguan Beban Lebih	5
2.3 Gangguan dan Analisis Hubung Singkat	6
2.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat	7
2.4.1 Hubung Singkat Tiga Fasa	7
2.4.2 Hubung Singkat Antar Fasa	8
2.4.3 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	8
2.5 Rele Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>)	8
2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers	9
2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan	10
2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	12
2.6 Penyetelan Rele Arus Lebih	13
2.6.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	13
2.6.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Instan	14
2.6.3 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu	15
2.7 Rele Gangguan ke Tanah (<i>Ground Fault Relay</i>)	16
2.8 Penyetelan Rele Gangguan ke Tanah	16
2.9 Rele Diferensial (<i>Differential relay</i>)	16
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT PUSRI PALEMBANG	17
3.1 Sistem Kelistrikan PT Pusri Palembang	17
3.1.1 Sistem Kelistrikan Eksisting PT Pusri Palembang	17

3.2 Kapasitas Pembangkitan PT Pusri Palembang Setelah Penambahan Beban P2B dan Generator 1 x 35 MW	18
3.3 Sistem Distribusi di PT Pusri Palembang	19
3.4 Data Beban di PT Pusri Palembang	20
3.4.1 Data Beban Eksisting di PT Pusri Palembang	20
3.5 Sistem Pengaman di Jaringan Kelistrikan PT Pusri Palembang.....	21
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI	
PROTEKSI PT. PUSRI PALEMBANG	23
4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Pusri Palembang	23
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi Pada PT.Pusri Palembang.....	23
4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat	25
4.3.1 Analisis Arus Hubung Singkat Maksimum	25
4.3.2 Analisis Arus Hubung Singkat Minimum.....	26
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	27
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	27
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	45
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3	60
4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4	78
4.5 Koordinasi Rele Diferensial	87
4.5.1 Koordinasi Rele Diferensial Trafo TR#SB1	87
4.5.2 Koordinasi Rele Diferensial Trafo TR#SB2.....	87
4.6 Koordinasi Rele Arus Gangguan ke Tanah	88
4.6.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1.....	88
4.6.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 4.....	96
Bab 5 PENUTUP	101
5.1 Kesimpulan.....	101
5.2 Saran.....	101
DAFTAR PUSTAKA.....	103
BIOGRAFI PENULIS	105

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Arus gangguan hubung singkat ke titik gangguan yang terkontribusi oleh beberapa sumber.....	6
Gambar 2. 2 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Invers	10
Gambar 2. 3 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan.....	11
Gambar 2. 4 Kombinasi Rele Arus Lebih Waktu Invers Rele Arus Lebih Waktu Instan	12
Gambar 2. 5 Rele Arus Lebih Pengaman Trafo	15
Gambar 3. 1 Sistem Kelistrikan Setelah Penambahan Beban Pusri 2B dan Generator 1x32 MW	17
Gambar 3. 2 Sistem Kelistrikan Baru PT Pusri Palembang	18
Gambar 4. 1 Tipikal kordinasi pengaman PT Pusri Palembang	24
Gambar 4. 2 a) Tipikal 1A dan b) Tipikal 1B	28
Gambar 4. 3 Plot kurva pengaman untuk kondisi eksisting Tipikal 1A	29
Gambar 4. 4 Tripping GE Multilin IAC-51A inverse curve	32
Gambar 4. 5 Tripping GE Multilin G60 IAC-inverse curve	35
Gambar 4. 6 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> Tipikal 1A	36
Gambar 4. 7 Tripping definite curve GE Multilin 760.....	38
Gambar 4. 8 Tripping definite curve GE Multilin 760.....	39
Gambar 4. 9 Tripping definite curve GE Multilin 760.....	41
Gambar 4. 10 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> Tipikal 1B dengan arah arus up untuk Tipikal 1B	43
Gambar 4. 11 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> dengan arah arus down Tipikal 1B.....	44
Gambar 4. 12 (a) Tipikal 2A dan (b) Tipikal 2B.....	45
Gambar 4. 13 Plot kurva pengaman untuk kondisi eksisting Tipikal 2A	46
Gambar 4. 14 Tripping curve B6-Very Inverse Curve Basler BE1-51	48
Gambar 4. 15 Tripping B7-Extremely Inverse Basler BE1-51	50
Gambar 4. 16 Tripping Inverse (51) (100%) curve GE Multilin IFCV	52
Gambar 4. 17 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> Tipikal 2A	53
Gambar 4. 18 Tripping Definite Curve GE Multilin 760	55
Gambar 4. 19 Tripping definite curve GE Multilin 760	56

Gambar 4. 20 Tripping definite curve GE Multilin 760	57
Gambar 4. 21 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> dengan arah arus up Tipikal 2B.....	59
Gambar 4. 22 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> dengan arah arus down tipikal 2B	60
Gambar 4. 23 (a) Tipikal 3A, (b) Tipikal 3B, dan (c) Tipikal 3C.....	61
Gambar 4. 24 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> Tipikal 3A	66
Gambar 4. 25 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> Tipikal 3B.....	72
Gambar 4. 26 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> Tipikal 3C.....	77
Gambar 4. 27 Koordinasi Proteksi Tipikal 4	78
Gambar 4. 28 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> Tipikal 4.....	82
Gambar 4. 29 (a) Tipikal 1A dan (b) Tipikal 1B	89
Gambar 4. 30 Plot kurva pengaman untuk eksisting Tipikal 1A dengan (a) Rele 41 serta (b) Rele 50GG BKR P4-2	90
Gambar 4. 31 Plot kurva pengaman untuk <i>resetting</i> Tipikal 1A dengan (a) Rele 43 dan Rele 41 serta (b) Rele 38 dan Rele 50G BKR P4-2	94
Gambar 4. 32 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>resetting</i> Tipikal 1B.....	96
Gambar 4. 33 Koordinasi Proteksi Tipikal 4	97
Gambar 4. 34 Plot kurva pengaman untuk kondisi <i>setting</i> Tipikal 4.....	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Gangguan Hubung Singkat	7
Tabel 3. 1 Data Kapasitas Pembangkit di PT Pusri Palembang	18
Tabel 3. 2 Total Pembangkitan , Pembebanan, dan Demand di PT Pusri Palembang.....	19
Tabel 3. 3 Data Bus Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang ...	19
Tabel 3. 4 Data Transformator Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang.....	20
Tabel 3. 5 Data <i>Tie</i> Transformer Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang.....	20
Tabel 3. 6 Data Beban Eksisting di PT Pusri Palembang.....	21
Tabel 3. 7 Data Beban Baru Pusri 2B Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang.....	21
Tabel 4. 1 Data arus hubung singkat maksimum	25
Tabel 4. 2 Data arus hubung singkat minimum.....	26
Tabel 4. 3 Tabel eksisting dan resetting rele arus lebih.....	83
Tabel 4. 4 Tabel eksisting dan resetting rele arus lebih pada saluran menuju old syn bus	86
Tabel 4. 5 Tabel eksisting dan resetting rele gangguan ke tanah	100

----Halaman ini sengaja dikosongkan----

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pabrik kimia merupakan pabrik yang membutuhkan kontinuitas pasokan daya dan keandalan sistem kelistrikan yang tinggi dikarenakan proses produksi yang terjadi membutuhkan keamanan yang tinggi akibat bahan-bahan berbahaya pada pabrik tersebut. Disamping untuk menjaga keamanan, kontinuitas daya juga dibutuhkan untuk menjaga proses produksi dapat berjalan dengan lancar karena terhentinya proses produksi mengakibatkan kerugian yang cukup besar. Gangguan-gangguan yang mungkin terjadi dapat mengganggu kinerja sistem dan merusak peralatan yang ada, sehingga dibutuhkan suatu peralatan pengaman untuk mengamankan peralatan dari gangguan yang mungkin terjadi.

PT Pupuk Sriwijaya Palembang (PT Pusri) merupakan suatu pabrik yang berbahan dasar kimia, melakukan ekspansi dengan penambahan beban pada Pabrik P2B dan penambahan Generator 1x35 MW. Penambahan beban dan generator ini terintegrasi dengan sistem 33 kV, sehingga dibutuhkan koordinasi proteksi untuk mengamankan sistem baik pada Pabrik P2B maupun pada sistem integrasi dari kemungkinan gangguan yang terjadi. Dengan demikian, Tugas Akhir ini berfokus pada studi koordinasi proteksi pada Pabrik P2B dan setelah penambahan beban dan generator 1x35 MW pada tipikal di PT Pusri.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Sistem kelistrikan di PT Pusri Palembang setelah bertambahnya beban pabrik P2B dan generator 1x35 MW.
2. Studi mengenai aliran daya dan besar arus hubung singkat pada PT Pusri Palembang akibat penambahan beban Pabrik P2B dan generator 1x35 MW.
3. Koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah pada *typical* yang ditentukan di PT Pusri Palembang dengan menggunakan nilai yang didapatkan dari perhitungan dan disimulasikan menggunakan *software* ETAP 7.5.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari Tugas Akhir ini diharapkan sebagai berikut:

1. Memodelkan, mensimulasikan serta menganalisis sistem kelistrikan pada PT Pusri Palembang akibat penambahan beban Pabrik P2B dan generator 1x35 MW.
2. Mendapatkan *setting* dari koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah yang tepat pada sistem kelistrikan akibat penambahan beban Pabrik P2B dan generator 1x35 MW di PT Pusri Palembang.

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dipakai sebagai masukan bagi PT Pusri dalam melakukan koordinasi proteksi arus lebih dan rele gangguan ketanah akibat penambahan beban Pabrik P2B dan generator 1x35 MW.
2. Dapat menjadi referensi mengenai studi koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah bagi mahasiswa yang akan mengerjakan Tugas Akhir dengan permasalahan yang serupa.

1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. **Studi literatur**
Mengumpulkan buku serta referensi yang berhubungan dengan koordinasi proteksi.
2. **Pengumpulan data**
Mengumpulkan data-data yang dibutuhkan mengenai sitem kelistrikan pada PT Pusri, baik *single line diagram* maupun spesifikasi peralatan (generator, kabel, motor, trafo, dan kapasitas pada bus bar serta beban dan single line diagram) pada PT Pusri Palembang.
3. **Pemodelan dan simulasi**
Memodelkan sistem kelistrikan pada PT Pusri Palembang serta mensimulasikannya dengan *software* ETAP 7.5. Pemodelan dan simulasi ini dilakukan dengan tujuan menganalisis aliran daya serta melakukan studi hubung singkat. Simulasi koordinasi proteksi menggunakan *Star Device* pada *software* ETAP 7.5 untuk mendapatkan koordinasi proteksi yang tepat pada sistem kelistrikan.

4. Analisis simulasi

Hasil yang didapatkan dari simulasi sebelumnya digunakan untuk melakukan pengaturan pada rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah.

5. Kesimpulan

Memberikan kesimpulan mengenai pengaturan koordinasi rele yang digunakan pada tugas akhir ini serta memberikan saran untuk mengatasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi.

1.5 Sistematika Penulisan

Pembahasan dalam Tugas Akhir ini terbagi atas 5 bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab 1 : PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang permasalahan, tujuan, serta manfaat dari tugas akhir ini, penjabaran mengenai metodologi pengerjaan dan sistematika penulisan.

Bab 2 : KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN

Bab ini menjabarkan mengenai teori-teori dan kajian pustaka yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

Bab 3 : SISTEM KELISTRIKAN PT PUPUK SRIWIJAYA (PT. Pusri) PALEMBANG

Bab ini menjelaskan mengenai konfigurasi kelistrikan eksisting serta konfigurasi kelistrikan baru akibat penambahan generator 1x35 MW dan beban baru pada Pabrik P2B di PT Pusri.

Bab 4 : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PADA PT PUPUK SRIWIJAYA (PT Pusri) PALEMBANG

Perhitungan-perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan dibahas dalam bab ini dengan disertai beberapa rekomendasi untuk *setting* rele untuk koordinasi proteksi yang lebih baik.

Bab 5 : PENUTUP

Pada bab ini diberikan kesimpulan dan saran dari studi literatur, hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN

2.1 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Kelistrikan dalam suatu sistem kelistrikan dalam dunia industri merupakan salah satu hal terpenting untuk menjaga kelangsungan proses produksi dan menjaga keamanan pekerja. Suatu sistem kelistrikan dikatakan stabil apabila memenuhi aspek keandalan dan kontinuitas, untuk mencapai aspek-aspek tersebut dibutuhkan suatu koordinasi proteksi yang dapat mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan pada aspek tersebut. Koordinasi proteksi dapat dilakukan dengan cara melakukan *setting* pada rele proteksi agar mengisolir arus gangguan dengan menggerakkan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) untuk mencegah kerusakan pada peralatan dan menjaga aliran daya agar tidak terputus.

Pemilihan rele proteksi juga memperhatikan beberapa aspek, yaitu: proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain simpel, sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dan tidak sensitif terhadap arus beban normal [1]. Pada umumnya digunakan rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah untuk mengatasi gangguan yang terjadi di industri.

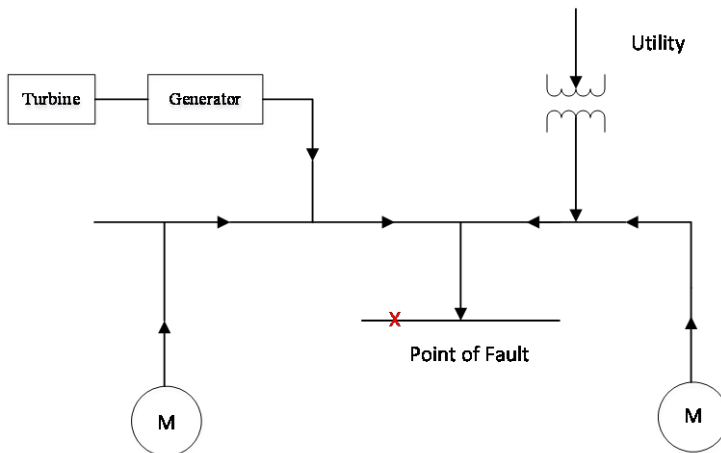
Koordinasi proteksi juga dibagi dalam beberapa area proteksi dengan peralatan yang tepat agar dapat mengatasi gangguan yang mungkin terjadi pada peralatan dan generator [2]. Koordinasi proteksi dapat diklasifikasikan menjadi dua zona, yaitu: zona primer dan zona *backup*. Zona primer merupakan sistem pengaman utama terhadap gangguan dan beroperasi pertamas untuk mengisolasi gangguan. Zona primer umumnya didominasi oleh rele berkecepatan tinggi dengan waktu operasi 1 hingga 3 cycle. Jika sesaat setelah gangguan, arus gangguan masih mengalir, maka zona *backup* akan bekerja dengan melakukan *trip circuit breaker* terdekat dari zona primer.

2.2 Gangguan Beban Lebih

Arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diijinkan ($I > I_n$) dan terjadi secara terus-menerus serta melebihi kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang akan mengakibatkan suatu gangguan dan merusak peralatan listrik yang terpasang.

2.3 Gangguan dan Analisis Hubung Singkat

Dalam mencari *setting* rele yang tepat, diperlukan analisis aliran daya dan analisis hubung singkat pada sistem kelistrikan ketika terjadi arus gangguan. Gangguan hubung singkat, terbagi menjadi gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tidak simetri. Gangguan hubung singkat simetri meliputi: gangguan hubung singkat tiga fasa. Sedangkan, gangguan hubung singkat tidak simetri meliputi: gangguan antar dua fasa, satu phasa ke tanah, dan dua phasa ke tanah. Arah aliran arus gangguan hubung singkat dapat dijelaskan pada Gambar 2.1.[3]:



Gambar 2. 1 Arus gangguan hubung singkat ke titik gangguan yang berkontribusi oleh beberapa sumber [3]

Pada Tabel 2.1 dapat kita lihat rangkaian gangguan hubung singkat beserta arus gangguan yang terjadi.

Tabel 2. 1 Tabel Gangguan Hubung Singkat

Gangguan Hubung Singkat	RangkaianHubung Singkat	Persamaan
3 fasa ke tanah		$V_{a0} = 0$ $V_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $I_{a2} = 0$ $I_{sc3} = \frac{V_f}{X_1}$
Antar fasa		$I_a = 0$ $I_b = -I_c$ $V_b = V_c$ $I_{sc2} = \left \pm j \frac{\sqrt{3}V_f}{X_1 + X_2} \right $
2 fasa ke tanah		$I_a = 0$ $V_b = 0$ $V_c = 0$ $I_{sc2} = \frac{V_f}{X_1 + X_2 X_0 / (X_2 + X_0)}$
1 fasa ke tanah		$I_b = 0$ $I_c = 0$ $V_a = 0$ $I_{sc0} = \frac{3V_f}{X_1 + X_2 + X_0}$

2.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan praktis untuk menghitung arus hubung singkat [4] dapat dilakukan dengan rumusan sebagai berikut:

2.4.1 Hubung Singkat Tiga Fasa

Hubung singkat tipe ini adalah hubung singkat yang melibatkan ketiga fasa. Sedangkan nilai arus hubung singkat tiga fasa (I_{SC_3}) didapatkan dari persamaan (1):

$$I_{SC_3} = \frac{VLN}{X_1} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- VLN merupakan tegangan *line to netral*
- X1 adalah reaktansi urutan positif.

2.4.2 Hubung Singkat Antar Fasa

Tipe hubung singkat ini adalah hubung singkat yang terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Nilai arus hubung singkat (I_{SC_2}) didapatkan dari persamaan (2):

$$I_{SC_2} = \frac{VLN}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{SC_3} \approx 0.866 I_{SC_3} \dots \dots \dots (2)$$

2.4.3 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan hubung singkat yang melibatkan impedansi urutan nol (Z_0) dan besarnya arus hubung singkat bergantung pada sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa (I_{SC_0}) didapatkan dari persamaan (3):

$$I_{SC_0} = \frac{3VLN}{X_1 + X_2 + X_0} \dots \dots \dots (3)$$

2.5 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih merupakan rele yang beroperasi ketika adanya arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan dengan memberikan sinyal kepada *circuit breaker* untuk bekerja. Rele akan bekerja dengan kondisi sebagai berikut [2]:

- Rele bekerja (*trip*) ketika $I_f > I_p$
- Rele tidak bekerja (*block*) ketika $I_f < I_p$

Nilai I_p dan I_f dinyatakan terhadap gulungan sekunder trafo arus (CT), dengan I_p merupakan arus kerja dan I_f merupakan arus gangguan. Rele arus lebih dipergunakan untuk melindungi semua bagian pada sistem kelistrikan. Penggunaan rele arus terhadap waktu lebih terbagi atas: Rele arus lebih waktu tertentu, Rele arus lebih waktu instan, dan dan Rele arus lebih waktu *inverse*.

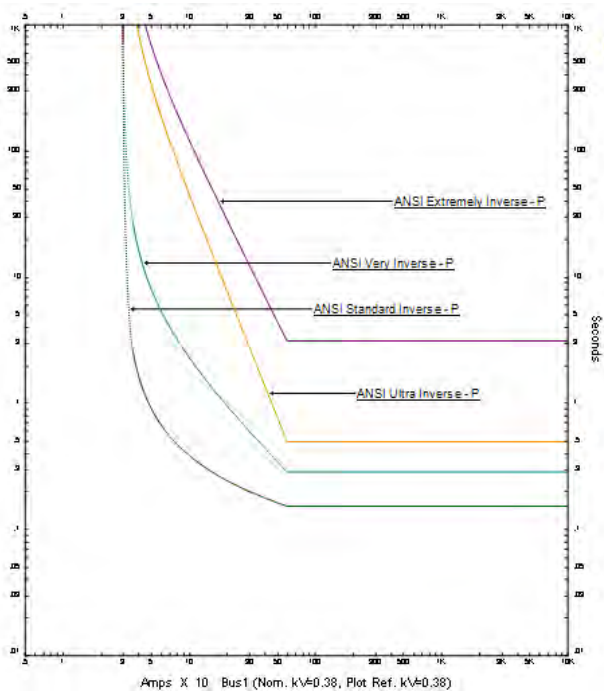
Berdasarkan IEEE 242 mengenai koordinasi proteksi rele arus lebih, diberikan perbedaan waktu minimum antara 0,3 detik sampai dengan 0,4 detik untuk rele arus lebih pada umumnya. Sedangkan untuk rele digital berbasis mikroprosessor berkisar antara 0.2 hingga 0.3

detik. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa zona *backup* dapat bekerja bila zona primer gagal bekerja, dan menghindari kemungkinan terjadinya *trip* secara serentak.

2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Prinsip kerja rele arus lebih waktu invers adalah waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Sehingga, semakin besar arus gangguan yang terjadi maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, begitupula sebaliknya. Rele arus lebih ini dapat dijelaskan pula oleh kurva TCC (*time current characteristic*), dimana kurva TCC merupakan kurva dalam skala *time dial*.

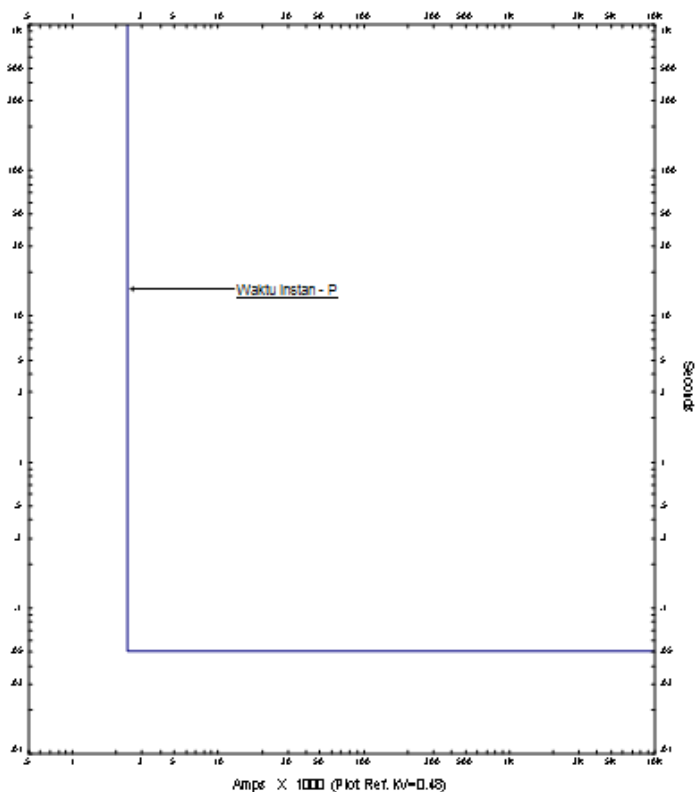
Berdasarkan standar IEC 60255 dan standar British BS-142, menjelaskan karakteristik invers beserta perlindungan waktu invers dalam perbedaan gradien kurvanya, dimana semakin besar arus akan membuat waktu operasi berjalan lambat seolah mendekati waktu minimumnya. Pada Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu invers berdasarkan standar ANSI, yaitu : *extemely inverse*, *very inverse*, *standard inverse*, dan *ultra inverse*.



Gambar 2. 2 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Invers [3]

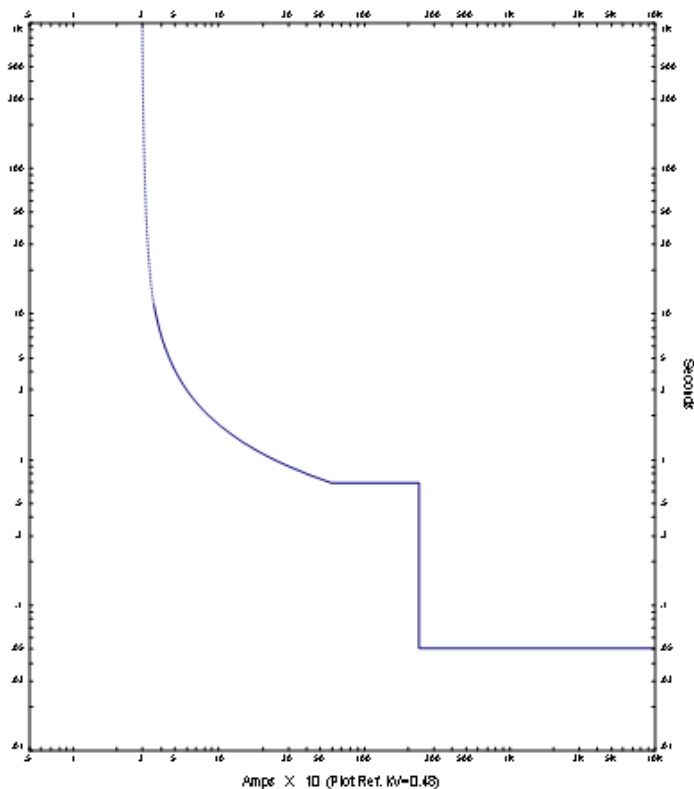
2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih waktu instan adalah rele yang bekerja tanpa adanya penundaan waktu ketika mencapai *pickup set point* namun masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0.1 detik dan kurang dari 0.08 detik, seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih bekera berdasarkan arus gangguan hubung singkat yang ditentukan dan waktu bekerja *Circuit Breaker* dalam waktu yang cepat (0.8 detik). Gambar 2.4 menunjukkan penggabungan karakteristik kerja antara rele arus lebih waktu invers dan rele arus lebih waktu instan.



Gambar 2. 4 Kombinasi Rele Arus Lebih Waktu Invers Rele Arus Lebih Waktu Instan

2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih waktu tertentu memiliki *setting* waktu operasi yang berbeda-beda bergantung dari *level* arus yang mengalir. Penggunaan rele arus lebih ini berdampak pada gangguan yang diputus dari sistem kelistrikan adalah gangguan yang paling dekat dengan rele yang sesuai dengan *time delay setting*. Sedangkan semua level arus yang melebihi *pickup set point* akan dilepaskan dalam waktu yang bersamaan.

2.6 Penyetelan Rele Arus Lebih

Penyetelan rele arus lebih didasari pada hasil dari studi aliran daya dimana studi aliran daya merupakan tulang punggung untuk melakukan perencanaan, pengoperasian, penjadwalan yang ekonomis, dan perpindahan daya antar peralatan pada suatu analisis dan desain sistem tenaga [5]. Rele arus lebih adalah rele yang tidak akan bekerja pada saat beban maksimum, sehingga arus beban maksimum harus lebih kecil dari *setting* arus pada rele arus lebih. Rele arus lebih memiliki dua macam *setting*, yaitu: penyetelan *time dial* dan penyetelan arus *pick up* sekunder maupun arus *pick up* primer [6]. Pemilihan *tap* ditentukan oleh besarnya arus *pickup* pada penyetelan rele arus lebih. Nilai *tap* dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan (4) [7]:

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \dots \dots \dots (4)$$

Nilai *Iset* adalah nilai arus *pickup* dalam satuan Ampere. Menurut standar British BS-142, batas penyetelan rele arus lebih berkisar antara 1.05 - 1.3 *Iset*.

2.6.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Penyetelan rele arus lebih waktu *inverse* membutuhkan *setting overcurrent* dan *setting time dial* untuk menentukan waktu operasi rele. Penentuan *setting overcurrent* ditentukan oleh standar yang ditetapkan oleh standar British BS-142 pada persamaan (5):

$$1,05 \times FLA \text{ Peralatan} < I_{set} < 1,3 \times FLA \text{ Peralatan} \dots \dots \dots (5)$$

Penentuan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih didapatkan dari persamaan (6) [8]:

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

- td = waktu operasi (detik)
- T = *time dial*
- I = nilai arus (Ampere)
- Iset* = arus *pickup* (Ampere)

- k = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.2)
 α = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.2)
 β = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.2)

Tabel 2.2 Koefisien *trip curve*

Current Type	Coefficient Values		
	k	α	β
Standard Inverse	0.14	0.2	2.97
Very Inverse	13.5	1	1.5
Long Time Inverse	120	1	13.33
Extremely Inverse	80	2	0.808
Ultra Inverse	315.2	2.5	1

2.6.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Instan

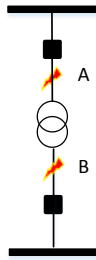
Studi hubung singkat diperlukan pada penyetelan rele arus lebih waktu instan dikarenakan untuk mendapatkan parameter nilai arus hubung singkat untuk menentukan arus dan tegangan maksimum serta minimum pada titik tertentu dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis gangguan yang terjadi [9].

Setelah dilakukannya studi hubung singkat maka akan didapatkan nilai dari *pickup set point* yang diizinkan. Penentuan *setting pickup point* menggunakan $I_{sc \text{ min}}$ dimana $I_{sc \text{ min}}$ adalah arus hubung singkat dua fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga ditetapkan *setting* (7):

$$1,6 \times FLA \text{ Peralatan} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \text{ min}} \dots \dots \dots (7)$$

Pada persamaan 5, didapatkan nilai 0.8 yang merupakan faktor keamanan dari suatu proteksi untuk estimasi bila terjadi arus gangguan yang lebih kecil dari arus hubung singkat minimum dan tidak terdeteksi.

Jika suatu *feeder* dipisahkan oleh trafo, koordinasi proteksi dibedakan menjadi dua daerah, yaitu: daerah tegangan redah (LV) dan daerah tegangan tinggi (HV), seperti yang terlihat pada Gambar 2.5:



Gambar 2. 5 Rele Arus Lebih Pengaman Trafo

Diketahui $I_{sc \text{ max bus B}}$ merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B, sedangkan $I_{sc \text{ min bus A}}$ adalah arus hubung singkat minimum pada titik A. Dari Gambar 2.5 dapat ditentukan *setting pickup* pada persamaan (8):

$$I_{sc \text{ max bus B}} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \text{ min bus A}} \dots \dots \dots (8)$$

Pada persamaan 6, nilai 0,8 merupakan nilai *safety* seperti pada persamaan 5 untuk menanggulangi arus yang lebih kecil dari arus hubung singkat minimum yang tidak terdeteksi.

2.6.3. Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Sistem koordinasi proteksi yang baik adalah koordinasi proteksi yang bekerja secara berurutan dengan jarak waktu tertentu, dimana rele pengaman utama bekerja terlebih dahulu sebelum pengaman *backup* bekerja.

Jarak waktu atau *time delay* juga dikenal dengan *setting* keterlambatan waktu (*grading time*). *Time delay* berdasarkan standar IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0.04-0.1 detik (2-5 cycle)

Overtravel dari rele : 0.1 detik

Faktor keamanan : 0.12-0.22 detik

Jika rele berbasis *microprocessor*, maka *overtravel time* dari rele akan diabaikan [1].

2.7 Rele Gangguan ke Tanah (*Ground Fault Relay*)

Rele gangguan ke tanah berfungsi dengan cara mengamankan gangguan satu fasa ke tanah yang dilengkapi dengan *zero sequence current filter*.

2.8 Penyetelan Rele Gangguan ke Tanah

Rele gangguan ke tanah akan bekerja jika ada arus urutan nol, dimana arus urutan nol mengalir dari sumber gangguan trafo belitan Wye dan terisolasi pada trafo belitan delta. *Setting* rele gangguan ke tanah memakai persamaan (9) dan persamaan (10):

$$5 - 10\% \times I_n \leq I_{set} \leq 50\% \times I_n \dots\dots\dots (9)$$

$$5 - 10\% \times I_{sc\ L - G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc\ L - G} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

$I_{sc\ L-G}$ merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

2.9 Rele Diferensial (*Differential relay*)

Rele diferensial merupakan rele yang beroperasi dengan menjumlahkan arus yang masuk dan yang keluar terhadap suatu zona proteksi seperti: zona proteksi trafo, zona proteksi bus, zona proteksi generator, zona proteksi kabel, dan sebagainya. Rele ini bekerja berdasarkan prinsip dimana arus yang masuk seharusnya bernilai sama dengan arus yang keluar pada zona tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada keadaan normal, arus yang mengalir pada rele diferensial tidak memiliki perbedaan. Saat terjadi gangguan pada zona proteksi, sebagian dari arus yang masuk akan terpantul kembali sehingga arus yang keluar menjadi lebih kecil dibanding arus yang masuk, sehingga terjadilah perbedaan arus pada rele tersebut. Jika perbedaan arus tersebut melebihi batas nilai yang telah ditentukan, maka rele akan bekerja. Rele diferensial bekerja secara bertahap terhadap gangguan dan tidak bekerja saat terdapat gangguan akibat beban lebih maupun gangguan diluar zona proteksinya

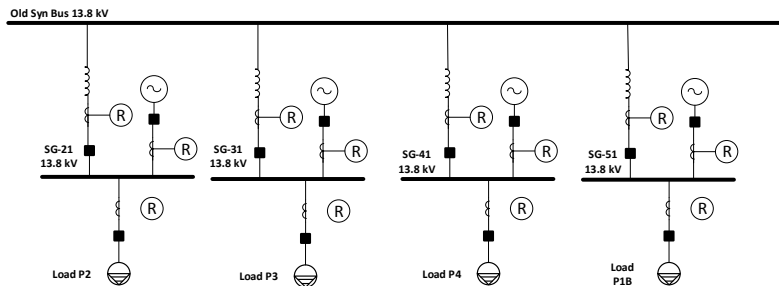
BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT PUSRI PALEMBANG

3.1 Sistem Kelistrikan PT Pusri Palembang

3.1.1 Sistem Kelistrikan Eksisting PT Pusri Palembang

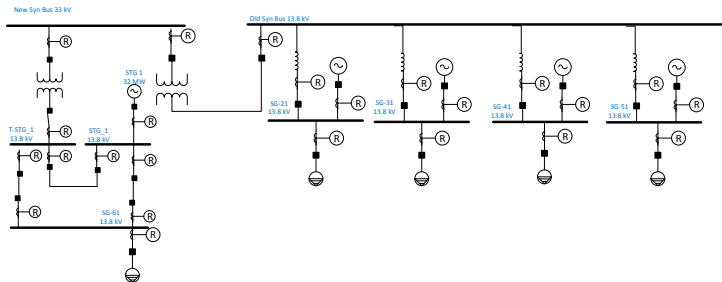
PT Pusri Palembang mempunyai sistem kelistrikan yang besar dan kompleks. Pada kondisi awal sebelum diberi penambahan beban dan generator baru, PT Pusri Palembang memiliki tiga unit pembangkit dengan kapasitas 20 MW dan satu unit pembangkit dengan kapasitas 25 MW. Sistem kelistrikan di PT Pusri Palembang merupakan sistem kelistrikan *islanding*, yang saling terhubung dengan *synchronous bus* untuk menjaga keandalan dari sistem kelistrikan PT Pusri Palembang. *Islanding* tersebut terbagi atas Pusri 2, Pusri 3, Pusri 4, dan Pusri 1B, seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Sistem Kelistrikan Setelah Penambahan Beban Pusri 2B dan Generator 1x32 MW

Penambahan beban berupa Pusri 2B serta pembangkit STG-1 yang berkapasitas 35 MW membuat perubahan sistem kelistrikan pada PT Pusri sehingga membutuhkan penambahan *synchronous bus* baru dengan kapasitas 33 kV untuk menghubungkan jaringan baru dan jaringan lama. *Powerplant* yang semula terbagi atas empat bagian, kini berubah menjadi lima bagian dengan adanya Pusri 2B. Pembangkit STG-1 ini mensuplai daya untuk Pusri 2B dan mengalirkan daya ke jaringan kelistrikan yang lama, sehingga dibutuhkan *resetting* koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan yang lama serta *setting* koordinasi

proteksi untuk Pusri 2B. Sistem kelistrikan yang baru ditunjukkan oleh Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Sistem Kelistrikan Baru PT Pusri Palembang

3.2 Kapasitas Pembangkitan PT Pusri Palembang Setelah Penambahan Beban P2B dan Generator 1 x 35 MW

Setelah dilakukan penambahan, PT Pusri Palembang memiliki total lima generator untuk memenuhi kebutuhan listrik pada sistem kelistrikan PT Pusri. Generator tersebut tersebar dengan rincian pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Data Kapasitas Pembangkit di PT Pusri Palembang

No	ID	Lokasi	Tegangan (KV)	Kapasitas (MW)
1	STG-1	Pusri 2B	13,8	35
2	2006-J	Pusri 2	13,8	20
3	3006-J	Pusri 3	13,8	20
4	4006-J	Pusri 4	13,8	20
5	5006-J	Pusri 1B	13,8	25

Pembangkitan, pembebanan, dan *demand* dari PT Pusri Palembang dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Total Pembangkitan , Pembebanan, dan Demand di PT Pusri Palembang

	MW	Mvar	MVA	% PF
<i>Source (swing bus)</i>	23,256	13,482	26,881	86,51 lagging
<i>Source (non swingbus)</i>	23,1	15,753	27,960	82,62 lagging
<i>Total Demand</i>	46,35	29,235	54,805	84,58 lagging
<i>Total Motor Load</i>	39,926	23,903	46,534	85,8 lagging
<i>Total Static Load</i>	6,174	3,488	7,091	87,07 lagging

3.3 Sistem Distribusi di PT Pusri Palembang

PT Pusri Palembang menggunakan sistem distribusi radial untuk sistem kelistrikannya, dengan dua *synchronous bus* untuk menghubungkan jaringan kelistrikan lama dan jaringan kelistrikan baru. Terdapat tiga level tegangan pada sistem distribusi kelistrikan di PT Pusri Palembang, seperti pada Tabel 3.3

Tabel 3. 3 Data Bus Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang

No	Lokasi	ID Bus	Tegangan Bus
1	Synchronous	Syn Bus New	33 kV
2		Syn Bus Old	13,8 kV
3	Pusri 2B	T-STG-1	13,8 kV
4		STG-1	13,8 kV
5		SG-61	13,8 kV
6		MCC #69	2,4 kV
7	Pusri 4	SG-41	13,8 kV
8		DS-4001 PIV	13,8 kV
9		DS-4101	13,8 kV
10		MCC #44	2,4 kV
11	Pusri 1B	SG-51	13,8 kV
12		MCC #59	2,4 kV

Sistem kelistrikan PT Pusri Palembang ditunjang oleh transformator untuk menurunkan tegangan sebelum masuk ke beban. Data transformator yang ada pada PT Pusri Palembang ditunjukkan oleh Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Data Transformator Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang

No	ID	MVA	kV	%Z	Hubungan
1	TR-69	2,5	13,8/2,4	5,5	Delta - Wye
2	T-STG1	40	33/13,8	12,5	Delta - Wye
3	TR-44	2,5	13,8/2,4	5,76	Delta - Wye
4	TR-59	2,5	13,8/2,4	6	Delta - Wye

Selain transformator penurun daya, terdapat transformator penghubung (*Tie Transformer*) yang menghubungkan jaringan kelistrikan lama dengan jaringan kelistrikan baru. Data *Tie Transformer* ditunjukkan oleh Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Data *Tie Transformer* Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang

No	ID	MVA	kV	%Z	Hubungan
1	T-Synbus-Old-New	40	33/13,8	12,5	Delta - Wye

3.4 Data Beban di PT Pusri Palembang

3.4.1 Data Beban Eksisting di PT Pusri Palembang

Beban pada eksisting PT Pusri Palembang terbagi atas lima *powerplant*, yaitu: Pusri 1B, Pusri 2, Pusri 3, Pusri 4, dan Pusri 2B. Data beban pada eksisting tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Data Beban Eksisting di PT Pusri Palembang

No	ID	Rating	KVA	kV	FLA	RPM
1	Motor 2007 UJK	380 kW	443	2,3	111,1	1500
2	U-GAM- 101A*	475 kW	552	2,4	132,8	1500
3	4209-JCM	1500 kW	1723	2,3	432,6	1500
4	5201- J/JA*	2x300 kW	350	2,3	87,92	1500

Pusri 2B merupakan beban baru yang akan digunakan oleh PT Pusri Palembang. Data dari penambahan beban baru tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.6

Tabel 3. 7 Data Beban Baru Pusri 2B Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang

No	ID	Rating	KVA	kV	FLA	RPM
1	Motor 6	0.6 MW	696	13,2	30,43	1500
2	Lump AMM OEP	0.85 MW	1000	13,8	41,84	-
3	Lump URE OEP	3,4 MW	4000	13,8	167,3	-

3.5 Sistem Pengaman di Jaringan Kelistrikan PT Pusri Palembang

Pada jaringan kelistrikan dibutuhkan suatu sistem pengaman untuk menjaga suplai daya agar tetap kontinyus dan produksi dapat tetap berjalan. Sistem pengaman ini harus terkoordinasi dengan baik agar dapat bekerja secara tepat cepat dan efektif untuk mengisolir gangguan yang terjadi. Jenis peralatan pengaman yang digunakan pada PT Pusri Palembang adalah Rele 50 untuk mengamankan gangguan akibat arus urutan nol, Rele 51 untuk mengamankan gangguan akibat arus lebih, Rele 87 untuk diferensial rele, serta Rele 67 untuk mengamankan *directional* arus lebih.

----Halaman ini sengaja dikosongkan----

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PT. PUSRI PALEMBANG

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Pusri Palembang

Pada bab ini dibahas mengenai pemodelan dengan simulasi serta hasil analisis koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Pemodelan simulasi sistem kelistrikan PT Pusri Palembang membutuhkan data-data peralatan seperti data generator, data motor, data transformator, data kabel, dan data bus.

Analisis aliran daya pada PT. Pusri Palembang ini dilakukan setelah pemodelan pada sistem selesai dibuat, analisis aliran daya dilakukan untuk memastikan kondisi sistem dalam keadaan stabil. Dengan analisis aliran daya dapat diketahui aliran daya, tegangan bus, faktor daya, pembebanan pada *transformer*, dan rugi-rugi daya listrik. Setelah dilakukan analisis aliran daya, kemudian dilakukan analisis hubung singkat untuk mengetahui hubung singkat yang terjadi pada pemodelan sistem sehingga dapat melakukan koordinasi proteksi dengan tepat.

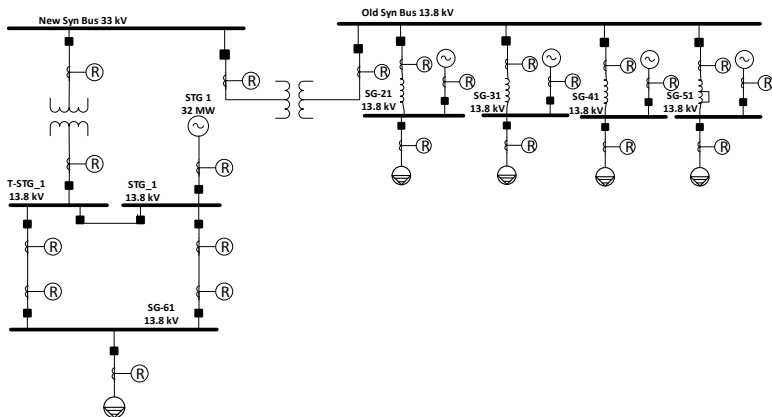
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi Pada PT.Pusri Palembang

Koordinasi proteksi yang tepat pada keseluruhan sistem dapat dilakukan dengan cara pengambilan beberapa tipikal yang mewakili sistem kelistrikan PT Pusri Palembang baik dari jaringan baru maupun jaringan lama dimana tipikal tersebut dapat menjadi acuan untuk melakukan *setting* koordinasi proteksi yang lain pada PT Pusri Palembang.

Koordinasi pengaman arus lebih PT Pusri Palembang dipilih 7 tipikal yang mewakili keseluruhan sistem. Tipikal-tipikal tersebut dipilih berdasarkan tipikal pada pabrik yang terhubung dengan *synchronous bus* yang menghubungkan jaringan lama dan jaringan baru. Ketujuh tipikal tersebut yaitu:

1. Koordinasi pengaman fasa dari beban Motor 4209-JCM sampai dengan Generator 4006-J dan dilanjutkan ke sekunder Trafo TR#SB1 melalui *old sync bus*. Pemilihan tipikal ini atas dasar saluran terpanjang pada Pabrik P4.

2. Koordinasi pengaman fasa dari beban Motor 5201-J/JA sampai dengan Generator 5006-J dan dilanjutkan ke sekunder Trafo TR#SB1. Pada tipikal ini juga dicantumkan koordinasi dengan *old sync bus*. Pemilihan tipikal ini atas dasar saluran terpanjang pada Pabrik P1B.
3. Koordinasi pengaman fasa dari beban Motor Lump 17 sampai dengan Generator STG-1 dan dilanjutkan ke sekunder Trafo TR#SB2. Pemilihan tipikal ini atas dasar saluran terpanjang pada Pabrik P2B.
4. Koordinasi pengaman fasa dari Trafo TR#SB2 ke Trafo TR#SB1 melalui *syn bus new*. Pemilihan tipikal ini untuk menunjukkan koordinasi sinkron dari jaringan pabrik baru ke jaringan pabrik lama.
5. Koordinasi pengaman gangguan ke tanah dari beban Motor 4209-JCM sampai dengan Generator 4006-J dan dilanjutkan ke sekunder Trafo TR#SB1 melalui *old sync bus*. Pemilihan tipikal ini atas dasar saluran terpanjang pada Pabrik P4.
6. Koordinasi pengaman gangguan ke tanah dari beban Motor Lump 17 sampai dengan Generator STG-1 dan dilanjutkan ke sekunder Trafo TR#SB2.
7. Koordinasi pengaman dengan rele diferensial trafo pada trafo TR#SB1 dan trafo TR#SB2.



Gambar 4. 1 Tipikal kordinasi pengaman PT Pusri Palembang

4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisis arus gangguan hubung singkat dilakukan untuk mendapatkan nilai besar arus hubung singkat di setiap bus pada ketujuh tipikal yang telah dipilih. Terdapat dua parameter untuk arus hubung singkat yang digunakan yakni arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum. Arus hubung singkat maksimum terjadi ketika adanya hubung singkat tiga fasa, dengan pembangkitan maksimum. Sedangkan arus hubung singkat minimum terjadi ketika adanya hubung singkat antar fasa dengan pembangkitan minimum.

4.3.1 Analisis Arus Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum terjadi ketika pembangkitan maksimum, dimana pada sistem kelistrikan PT Pusri Palembang berarti semua generator pada P1B, P2, P3, P4 serta P2B menyala dalam kondisi normal. Arus hubung singkat maksimum ini berada pada saat 0,5 cycle, 4 cycle dan 30 cycle bergantung pada analisis yang digunakan. Saat kondisi 0,5 cycle digunakan untuk melihat *setting* rele diferensial karena rele diferensial bekerja saat 1-3 cycle. Sedangkan untuk mendapatkan *setting* rele arus lebih menggunakan arus hubung singkat saat 4 cycle dan 30 cycle, dimana kondisi saat 4 cycle digunakan untuk *time delay* antara 0,08-0,5 detik dan kondisi saat 30 cycle digunakan untuk *time delay* 0,6 detik atau lebih. Data hasil simulasi arus hubung singkat maksimum 3 fasa pada saat 0,5 cycle, 4 cycle, hingga 30 cycle ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data arus hubung singkat maksimum

ID Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat Maksimum		
		0,5 Cycle	4 Cycle	30 Cycle
<i>old syn</i>	13,8 kV	27,89 kA	26,62 kA	18,70 kA
<i>new syn</i>	33 kV	6,2 kA	6,04 kA	5,02 kA
STG_1	13,8 kV	18,72 kA	17,64 kA	12,93 kA
T-STG_1	13,8 kV	17,02 kA	16,2 kA	12,37 kA
SG-61	13,8 kV	18,71 kA	17,63 kA	12,92 kA
SG-21	13,8 kV	19,18 kA	18,18 kA	11,62 kA
SG-31	13,8 kV	19,94 kA	18,54 kA	11,61 kA

Lanjutan **Tabel 4. 1** Data arus hubung singkat maksimum

ID Bus	Tegangan	Arus Hubung Singkat Maksimum		
		0,5 Cycle	4 Cycle	30 Cycle
SG-41	13,8 kV	19,72 kA	18,57 kA	11,63 kA
SG-51	13,8 kV	21,44 kA	19,68 kA	13,44 kA
MCC #69	2,4 kV	11,78 kA	11,11 kA	9,53 kA
PB1P2	13,8 kV	19,18 kA	18,18 kA	11,62 kA
MCC #2007	2,4 kV	9,09 kA	8,43 kA	7,68 kA
MCC #38	2,4 kV	33,41 kA	29,2 kA	20,91 kA
DS-4101 PIV	13,8 kV	16,73 kA	15,83 kA	10,46 kA
MCC #44	2,4 kV	13,37 kA	11, 61 kA	8,74 kA
MCC #59	2,4 kV	10,34 kA	9,50 kA	8,67 kA

4.3.2 Analisis Arus Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum terjadi ketika pembangkitan minimum, dimana pada sistem kelistrikan PT Pusri Palembang berarti generator pada P1B, P4 serta P2B menyala dalam kondisi normal dan P2 serta P3 dalam kondisi mati. Arus hubung singkat minimum digunakan untuk menentukan pickup kurva waktu instan, sehingga rele akan langsung bekerja jika terjadi arus gangguan hubung singkat minimum secara instan sesuai *setting time delay* yang telah ditentukan. Data hasil simulasi arus hubung singkat minimum dua fasa pada saat 30 cycle ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data arus hubung singkat minimum

ID Bus	Tegangan	30 Cycle
<i>old syn</i>	13,8 kV	11,14 kA
<i>new syn</i>	33 kV	4 kA
STG_1	13,8 kV	13,06 kA
T-STG_1	13,8 kV	11.97 kA
SG-61	13,8 kV	13,04 kA
SG-21	13,8 kV	4,85 kA

Lanjutan **Tabel 4. 2** Data arus hubung singkat minimum

SG-31	13,8 kV	4,85 kA
SG-41	13,8 kV	9,66 kA
SG-51	13,8 kV	10,95 kA
MCC #69	2,4 kV	8,41 kA
PB1P2	13,8 kV	4,85 kA
MCC #2007	2,4 kV	5,92 kA
MCC #38	2,4 kV	13,55 kA
DS-4001 PIV	13,8 kV	8,72 kA
MCC #44	2,4 kV	7,53 kA
MCC #59	2,4 kV	7,46 kA

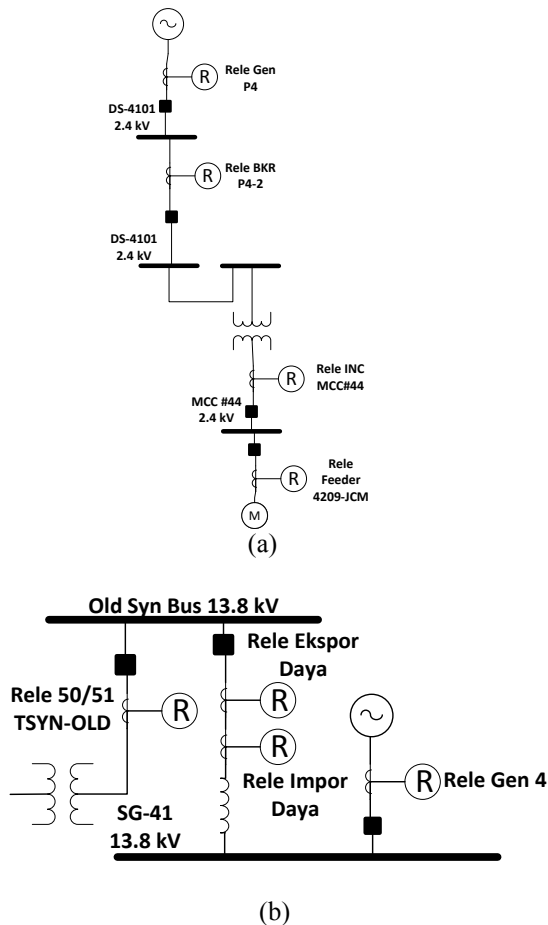
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Jika terjadi arus lebih gangguan fasa, rele arus lebih harus bekerja secara efektif dan selektif. Sehingga dilakukan *setting* arus dan waktu pada setiap rele arus lebih agar koordinasi rele arus lebih gangguan fasa bekerja sesuai yang diharapkan yakni mengisolasi gangguan agar peralatan lain tidak terganggu. Koordinasi rele arus lebih harus dilakukan agar tidak terjadi *overlap* antar rele.

Parameter yang dibutuhkan untuk melakukan *setting* rele yakni *pick up lowset*, *time dial*, *pick up highset* dan *time delay*. Standar IEEE 242 menyebutkan bahwa *grading time* untuk rele digital berada di kisaran 0,2-0,3 detik, sehingga pada tugas akhir ini dipilih *grading time* 0,2 detik. Setelah ditemukan parameter-parameter yang dibutuhkan, dapat dibuat plot kurva rele arus lebih.

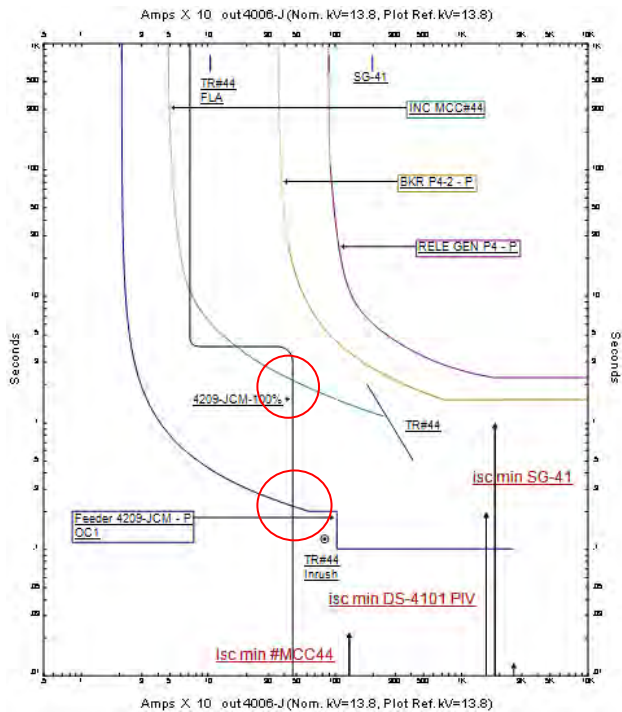
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi Tipikal 1 ini merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari beban beban motor 4209-JCM sampai dengan generator 4006-J dan dilanjutkan ke sekunder trafo Trafo Syn Old melalui *old sync bus*. Tipikal 1 dibagi menjadi Tipikal 1A dan Tipikal 1B untuk mempermudah *setting*. Koordinasi Tipikal ini ditunjukkan oleh gambar 4.3 sebagai berikut:



Gambar 4. 2 a) Tipikal 1A dan b) Tipikal 1B

Rele yang dikoordinasikan pada Tipikal 1A adalah Relé Feeder 4209-JCM, Relé INC MCC#44, Relé BKR P4-2, Relé Gen P4. Dari plot kurva pengaman eksisting didapatkan:



Gambar 4. 3 Plot kurva pengaman untuk kondisi eksisting Tipikal 1A

Pada plot kurva pengaman eksisting tipikal 1 pada Gambar 4.3 terdapat beberapa koordinasi yang kurang baik, sehingga diperlukan reseting untuk memperbaiki koordinasi rele tersebut. Lingkaran merah pada Gambar 4.3 menunjukkan beberapa *setting* yang kurang tepat. Berikut penjajarannya :

1. *Pick-up overcurrent* Rele Feeder 4209-JCM memotong kurva *starting* motor yang menyebabkan rele langsung memerintahkan CB untuk *trip* ketika Motor 4209-JCM *starting*.
2. *Pick-up overcurrent* Rele INC MCC#44 memotong kurva *starting* motor yang menyebabkan rele langsung memerintahkan CB untuk *trip* ketika Motor 4209-JCM *starting*.
3. *Pick-up overcurrent* Rele BKR P4-2 tidak sesuai standar yaitu antara 1,05 FLA peralatan hingga 1,3 FLA peralatan (BS 142-1983

Standard). Sehingga ketika ada gangguan, *overcurrent* Rele BKR P4-2 putus ketika nilai arus gangguannya sudah lebih besar dari 1,3 FLA peralatan.

4. Rele GEN P4 tidak mengaktifkan *instaneous* dan *time delay* sehingga bila terjadi arus hubung singkat akan mengenai *overcurrent*. *Setting overcurrent* pada rele ini juga tidak sesuai standar yaitu antara 1,05 FLA peralatan hingga 1,3 FLA peralatan (BS 142-1983 Standard), karena lebih kecil dari 1,05 dan dikhawatirkan langsung *trip* saat generator bekerja.

Resetting pada tipikal ini dapat dilakukan setelah dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungannya dapat dijabarkan sebagai berikut :

Rele Feeder 4209-JCM

<i>Manufacturer</i>	: Cuttler Hammer MP-3000
<i>Curve Type</i>	: IEC A
LRC Motor	: 6,5
FLA total Motor dibawah MCC #44	: 521,14 A
<i>CT Ratio</i>	: 600 / 5
Isc min MCC #44	: 7,63 kA (2,4 kV)
Isc max 4 cycle MCC #44	: 11,83 kA (2,4 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Motor} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Motor}$$

$$1,05 \times 521,14 < I_{set} < 1,3 \times 521,14$$

$$547,197 < I_{set} < 677,482$$

$$\frac{547,197}{600} I_n < \text{Tap} < \frac{677,482}{600} I_n$$

$$0,911 I_n < \text{Tap} < 1,129 I_n$$

memiliki tap dengan range : 0,2 - 1 x CT sekunder dengan step 0,05 I_n

sehingga dipilih tap = 1 I_n

dengan $I_{set} = 600 \text{ A}$

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus MCC#44 (t) = 0,74 detik, agar tidak memotong kurva motor 4209-JCM.

Time dial ini menggunakan kurva IEC A.

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,74 = \frac{0,14}{\left(\frac{Isc \text{ Max bus MCC\#44}}{tap \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,74 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{Isc \text{ Max bus MCC\#44}}{tap \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,74 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{11830}{1 \times 600}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,964$$

memiliki tap dengan range : 0,1 - 12,5 dengan step 0,1
sehingga dipilih *time dial* 0,975

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Motor 4209-JCM} < I_{\gg} < 0,8 \times isc \text{ min MCC\#44}$$

$$1,6 \times 521,14 < I_{\gg} < 0,8 \times 7630$$

$$833,824 < I_{\gg} < 6104$$

$$\frac{833,824}{600} In < Tap < \frac{6104}{600} In$$

$$1,38 In < Tap < 10,17 In$$

memiliki tap dengan range : 1 - 11 xCT sekunder dengan step 0,05 In

sehingga dipilih tap = 6 In

dengan Iset = 3600 A

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

Rele INC MCC#44

Manufacturer : GE Multilin IAC-51A

Curve Type : *Inverse*

FLA Sekunder Trafo : 601,4

CT Ratio : 800 / 5

Isc min MCC #44 : 7,63 kA (2,4 kV)

Isc max 4 cycle MCC #44 : 11,83 kA (2,4 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Sekunder Trafo} < I_{set} < 1,3 \times FLA \text{ Sekunder Trafo}$$

$$1,05 \times 601,4 < I_{set} < 1,3 \times 601,4$$

$$631,47 < I_{set} < 781,82$$

$$\frac{631,47}{800/5} < Tap < \frac{781,82}{800/5}$$

$$3,94 < Tap < 4,88$$

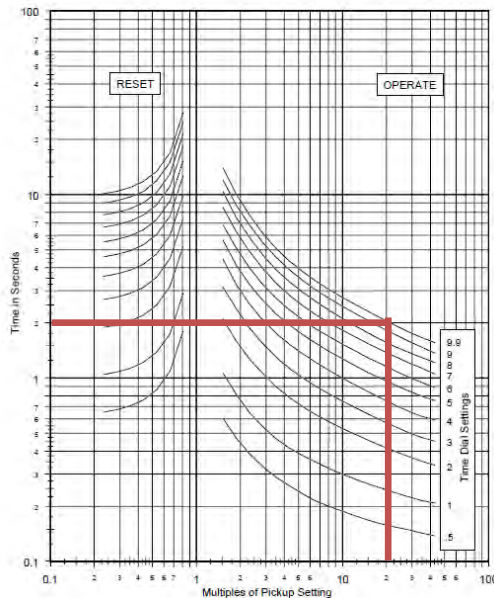
memiliki tap dengan range : 2 - 16 dengan sekunder 16 A

sehingga dipilih tap = 4 A

dengan $I_{set} = 640$ A

Time dial

Dipilih *time dial* = 10 karena jika pemilihan TDS dibawah 10, rele akan bekerja ketika motor dalam kondisi *starting*.



Gambar 4. 4 Tripping GE Multilin IAC-51A inverse curve

$$MTCS = \frac{I_{sc \text{ Maksimum}}}{I_{pickup}} = \frac{11830}{640} = 18,48 \sim 19$$

sehingga kurva untuk *overcurrent* bekerja saat $t = 2$ detik

Time delay

Dipilih *time delay* = 0,1 detik

Rele BKR P4-2

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
FLA Primer Trafo	: $41,84 + 20,92 + 41,84 + 104,6 = 209,2$
<i>CT Ratio</i>	: $600 / 5$
Isc min bus DS-4001 PIV	: 9,62 kA (13,8 kV)
Isc max 4 cycle DS-4001 PIV	: 20,21 kA (13,8 kV)

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA Primer Trafo} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Primer Trafo}$

$1,05 \times 209,2 < I_{set} < 1,3 \times 209,2$

$219,66 < I_{set} < 271,96$

$$\frac{219,66}{600} I_n < \text{Tap} < \frac{272,96}{600} I_n$$

$0,36 I_n < \text{Tap} < 0,45 I_n$

memiliki tap dengan range : 0,3 - 2,4 x CT sekunder dengan step 0,05

sehingga dipilih tap = 0,4 I_n

dengan $I_{set} = 240 \text{ A}$

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus DS-4001 (t) = 1,52 detik, menggunakan kurva IEC.

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$1,52 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus DS-4001}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{1,52 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus DS-4001}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{1,52 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{20210}{0,4 \times 600}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 3$$

memiliki tap dengan range : 0,1 - 12,5 dengan step 0,1
sehingga dipilih *time dial* = 3

Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA Primer Trafo} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. DS-4001}$

$1,6 \times 209,2 < I_{\gg} < 0,8 \times 9620$

$334,72 < I_{\gg} < 9620$

$\frac{334,72}{600} In < \text{Tap} < \frac{9620}{600} In$

$0,55 In < \text{Tap} < 16,03 In$

memiliki tap dengan range : 1 - 24 dengan step 0,1

sehingga dipilih tap = 7,8 In

dengan Iset = 4680 A

Time delay

Dipilih *time delay* = 0,3 detik

Rele GEN P4

Manufacturer : GE Multilin G60

Curve Type : IAC - Inverse

FLA Generator : 903,2

CT Ratio : 2000 / 5

Isc min kontribusi generator ke SG-41 : 10 kA (13,8 kV)

Isc max 30 cycle kontribusi generator ke SG-41: 8,78 kA (13,8 kV)

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA Generator} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Generator}$

$1,05 \times 903,2 < I_{set} < 1,3 \times 903,2$

$948,36 < I_{set} < 1174,16$

$\frac{948,36}{2000} In < \text{Tap} < \frac{1174,16}{2000} In$

$0,474 In < \text{Tap} < 0,587 In$

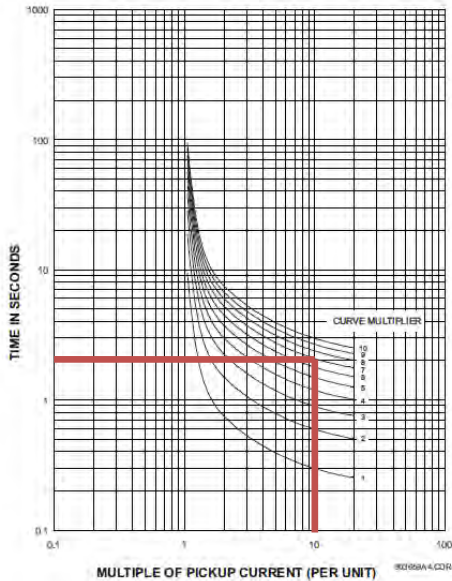
memiliki tap dengan range : 0,01 - 30 x CT sekunder dengan step 0,001

sehingga dipilih tap = 0,48 In

dengan Iset = 960 A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus
SG-41 t = 1,1 detik, menggunakan kurva MTCS.



Gambar 4. 5 Tripping GE Multilin G60 IAC-inverse curve

$$MTCS = \frac{I_{sc} \text{ Maksimum}}{I_{pickup}} = \frac{8780}{960} = 9,14 \sim 10$$

memiliki tap dengan range 0,01 - 30 x CT sekunder dengan step 0,001 sehingga dipilih *time dial* = 7

Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA Generator } I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min kontribusi generator ke SG-41}$

$1,6 \times 903,2 < 0,8 \times 10 \text{ kA}$

$1445,12 < I_{set} < 8000 \text{ A}$

$$\frac{1445,12}{2000} I_n < \text{Tap} < \frac{8000}{2000} I_n$$

$$0,72 I_n < \text{Tap} < 4 I_n$$

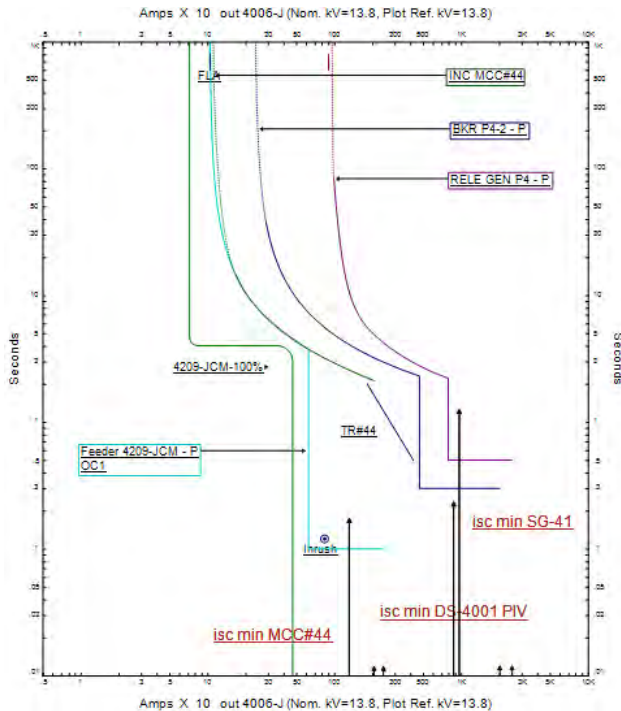
memiliki tap dengan range : 0,01 - 30 x CT sekunder dengan step 0,001 sehingga dipilih tap = 3,95 A

dengan Iset 7900 A

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5 detik

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka dilakukan pembuatan plot kurva koordinasi pengaman pada Tipikal 1A. Pada Gambar 4.6 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman Tipikal 1A setelah dilakukan *resetting*:



Gambar 4. 6 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* Tipikal 1A

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.6 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele Feeder 4209-JCM tidak boleh bekerja saat motor dalam kondisi *starting* karena akan mengakibatkan motor gagal untuk *starting*.

- Rele INC MCC#44 berfungsi sebagai pelindung transformator terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat yang terjadi pada Bus MCC#44.
- Rele BKR P4 berfungsi sebagai pelindung Bus SG-41 ketika terjadi hubung singkat di Bus DS4101-PIV.
- Rele GEN P4-2 berfungsi untuk pelindung Generator 4006-J terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.

Pada Tipikal 1B terdapat kondisi aliran arus menuju SG-41 dan menuju *Old Syn bus*. Rele yang dikoordinasikan pada Tipikal 1B adalah rele Gen P4, Rele Ekspor Daya (*up*), Rele Impor Daya, dan Rele 50/51 Tsyn-Old.

Plot kurva koordinasi pengaman dibuat pada software simulasi setelah dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manual pada Tipikal 1B dijabarkan sebagai berikut:

Rele GEN P4

Perhitungan rele Gen P4 sama seperti pada tipikal 1A.

Rele Ekspor Daya (Up)

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin 760
<i>Curve Type</i>	: <i>Definite Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 5

Isc min kontribusi ke old syn bus saat gangguan di old syn bus (Kondisi F1) : 3,38 kA (13,8 kV)

Isc min kontribusi ke *old syn bus* saat gangguan di *new syn bus* (Kondisi F2) : 1,64 kA (13,8 kV)

Isc Maksimum syn bus old : 5,4 kA (13,8 kV)

Total FLA trafo dibawah SG-41 : 907,95 A

Time Overcurrent Pick Up ($I>$)

$1,15 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min}$

$1,15 \times 907,95 < \text{Iset} < 0,8 \times 3380$

$\frac{1044,143}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2704}{800} \text{ In}$

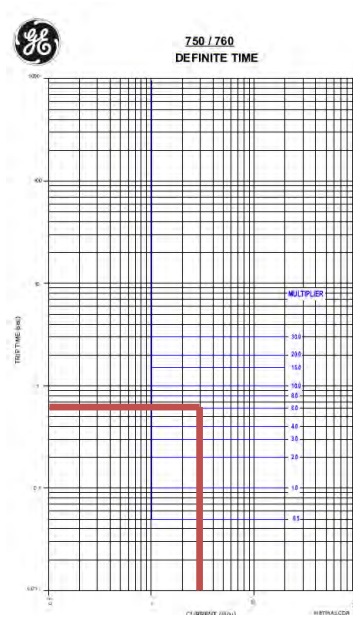
$1,3 \text{ In} < \text{Tap} < 3,38 \text{ In}$

sehingga dipilih tap = 2,7 In

dengan Iset = 2160 A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus SG-4, $t = 0,6$ detik, menggunakan kurva MTCS.



Gambar 4. 7 Tripping definite curve GE Multilin 760

$$MTCS = \frac{I_{sc \text{ Maksimum}}}{I_{pickup}} = \frac{5400}{2160} = 2,5 \sim 2$$

memiliki tap dengan range : $0,5 - 20 \times CT$ sekunder dengan step 0,01 sehingga dipilih *time dial* = 4

Time Overcurrent Pick Up ($I > >$)

$$1,15 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1,15 \times 907,95 < I_{set} < 0,8 \times 1640$$

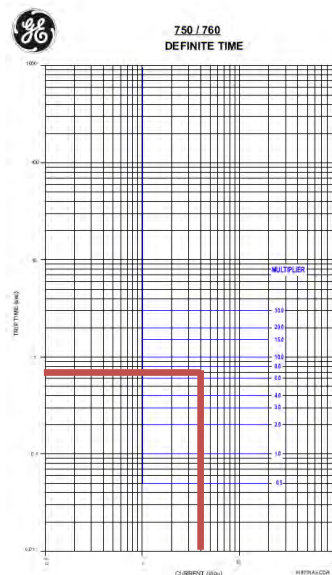
$$\frac{1044,143}{800} I_n < Tap < \frac{1312}{800} I_n$$

$$1,3 I_n < Tap < 1,64 I_n$$

sehingga dipilih tap = 1,5 In
dengan Iset = 1200 A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus SG-4, t = 0,6 detik, menggunakan kurva MTCS.



Gambar 4. 8 Tripping definite curve GE Multilin 760

$$MTCS = \frac{I_{sc \text{ Maksimum}}}{I_{pickup}} = \frac{5400}{1200} = 4,5 \sim 4$$

memiliki tap dengan range : 0,5 - 20 x CT sekunder dengan step 0,01
sehingga dipilih *time dial* = 7

Rele Impor Daya (Down)

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin 760
<i>Curve Type</i>	: ANSI - Normal Inverse
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 5

Isc min kontribusi dari SG lain saat gangguan di SG-41

(Kondisi F1) : 7,62 kA (13,8 kV)
 Isc min kontribusi dari old syn bus saat gangguan di SG-41
 (Kondisi F2) : 4,04 kA (13,8 kV)
 Isc Maksimum SG-41 : 5,66 kA (13,8 kV)
 Total FLA trafo dibawah SG-41 : 907,95 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 907,95 < I_{set} < 1,4 \times 907,95$$

$$953,34 < I_{set} < 1093,33$$

$$\frac{953,34}{800} In < Tap < \frac{1093,33}{800} In$$

$$1,19 In < Tap < 1,36 In$$

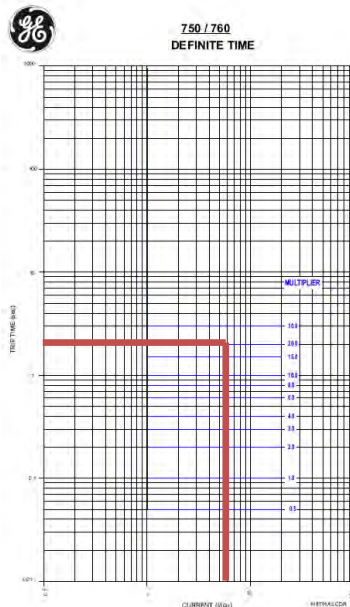
memiliki tap dengan range : 0,05 - 2,4 x CT sekunder dengan step 0,01

sehingga dipilih tap = 1,2 In

dengan Iset = 960A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus SG-4, t = 2 detik, menggunakan kurva MTCS.



Gambar 4. 9 Tripping definite curve GE Multilin 760

$$MTCS = \frac{I_{sc \text{ Maksimum}}}{I_{pickup}} = \frac{5660}{960} = 5,89 \sim 6$$

memiliki tap dengan range : 0,5 - 20 x CT sekunder dengan step 0,01 sehingga dipilih *time dial* = 20

Time Overcurrent Pick Up ($I >>$)

$$1,15 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1,15 \times 907,95 < I_{set} < 0,8 \times 7620$$

$$\frac{1044,14}{800} I_n < Tap < \frac{6096}{800} I_n$$

$$1,3 I_n < Tap < 7,62 I_n$$

sehingga dipilih tap = 1,5 I_n

dengan $I_{set} = 1200 \text{ A}$

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,8 detik

Time Overcurrent Pick Up ($I >>>$)

$$1,15 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,15 \times 907,95 < \text{Iset} < 0,8 \times 4040$$

$$\frac{1044,14}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3232}{800} \text{ In}$$

$$1,3 \text{ In} < \text{Tap} < 4,04 \text{ In}$$

sehingga dipilih tap = 2,7 In

dengan Iset = 2160 A

Time delay

sehingga dipilih time delay = 0,4

Rele 50/51 TSYN-OLD

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : RI Inverse

FLA pada sekunder trafo : 1673

CT Ratio : 2000 / 5

Isc min ke syn bus old : 3,31kA (13,8 kV)

Isc max : 22,45kA (13,8 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA pada sekunder trafo} < \text{Iset} < 1,3 \times \text{FLA pada sekunder trafo}$$

$$1,05 \times 1673 < \text{Iset} < 1,3 \times 1673$$

$$1756,65 < \text{Iset} < 2174,9$$

$$\frac{1756,65}{2000} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2174,9}{2000} \text{ In}$$

$$0,87 \text{ In} < \text{Tap} < 1,08 \text{ In}$$

memiliki tap dengan range : 0,05 - 2,4 x CT sekunder dengan step 0,01

sehingga dipilih tap = 0,88 In

dengan Iset = 1760A

Time dial

sehingga dipilih time dial = 0,7

Instantaneous Pickup

$$I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc Min. syn bus old}$$

$$I_{>>} < 0,8 \times 3310$$

$$I_{>>} < 2648$$

$$\text{Tap} < \frac{2648}{2000} \text{ In}$$

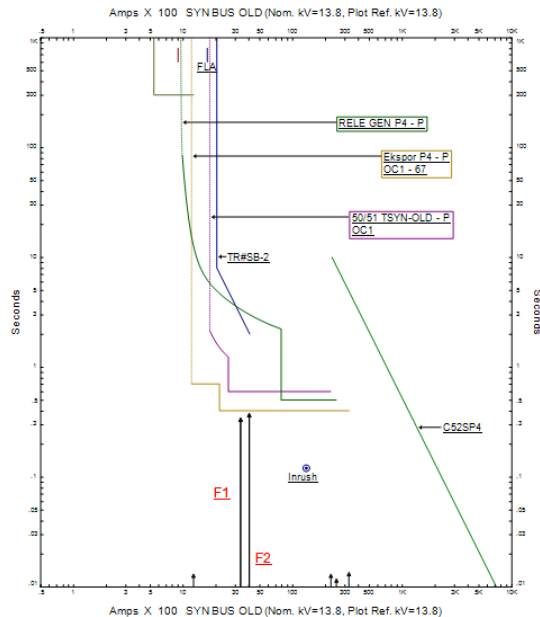
$$\text{Tap} < 1,32 \text{ In}$$

memiliki tap dengan range : $0,05 - 24 \times CT$ sekunder dengan step 0.1 sehingga dipilih tap = $1,3 In$ dengan Iset = $2600 A$

Time delay

sehingga dipilih $time\ delay = 0,6$ detik

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman dengan rele ekspor daya (*up*) untuk gangguan yang terjadi di *syn bus old* dan *syn bus new*. Berikut pada Gambar 4.10 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 1B:

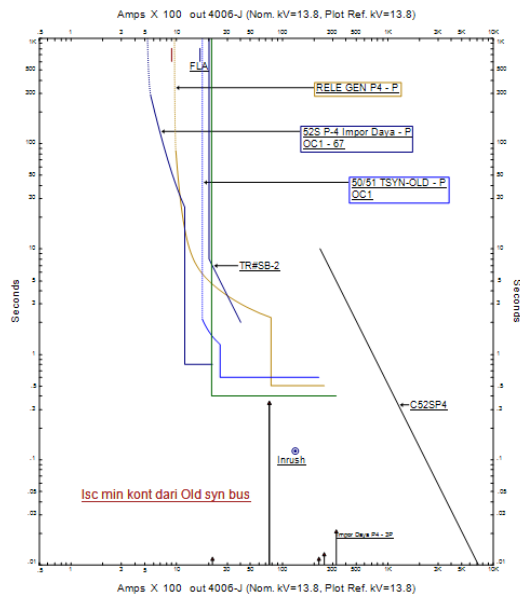


Gambar 4. 10 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* Tipikal 1B dengan arah arus *up* untuk Tipikal 1B

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.10 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele GEN P4-2 berfungsi untuk pelindung Generator 4006-J terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.
- Rele Ekspor Daya (*up*) berfungsi sebagai pelindung dari Bus SG-41 apabila terjadi gangguan hubung singkat pada *old syn bus* dan *new syn bus*.
- Rele 50/51 TSYN-OLD berfungsi sebagai pelindung Trafo TR#SB-2 saat ada gangguan di *old syn bus*

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman dengan rele ekspor daya (*down*) untuk gangguan yang terjadi di bus SG-41. Berikut pada Gambar 4.11 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 1B:



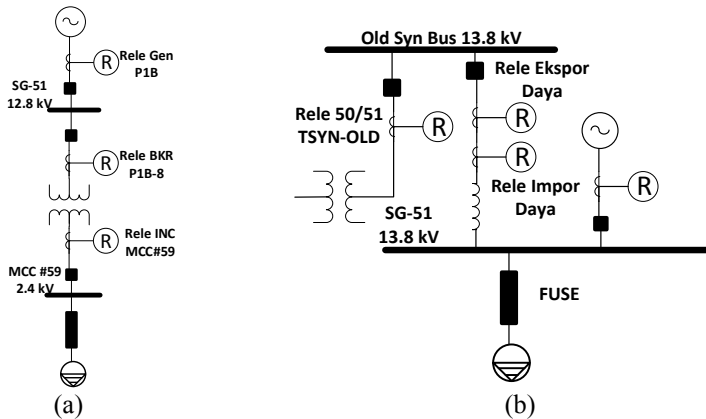
Gambar 4. 11 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* dengan arah arus *down* Tipikal 1B

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.11 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele GEN P4-2 berfungsi untuk pelindung generator 4006-J terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.
- Rele Ekspor Daya (*down*) berfungsi sebagai pelindung apabila terjadi gangguan hubung singkat pada old SG-41.
- Rele 50/51 TSYN-OLD berfungsi sebagai pelindung TR#SB-2 saat ada gangguan di old syn bus.

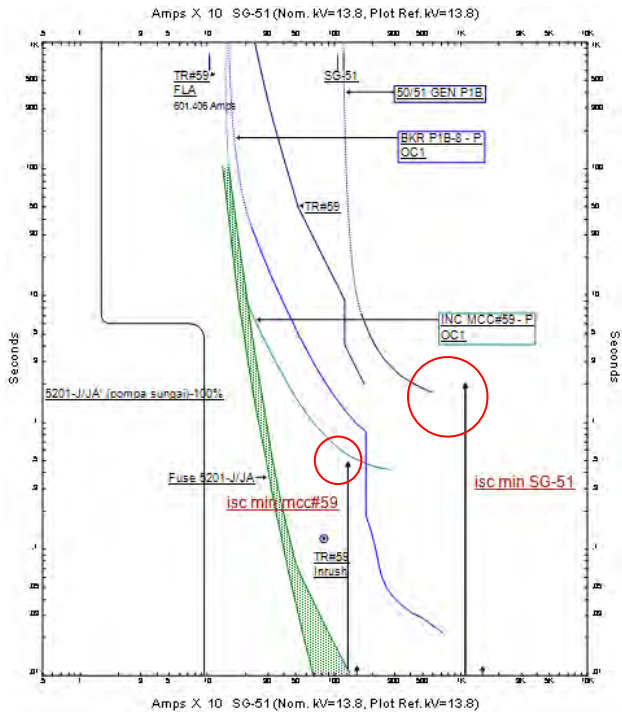
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi Tipikal 2 ini merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari beban beban Motor 5201-J/JA sampai dengan generator 5006-J dan dilanjutkan ke sekunder Trafo TR#SB1 melalui *old sync bus*. Tipikal 2 dibagi menjadi dua untuk mempermudah *setting*, yakni: Tipikal 2A dan Tipikal 2B. Koordinasi pada Tipikal 2 ditunjukkan oleh gambar 4.12 sebagai berikut:



Gambar 4. 12 (a) Tipikal 2A dan (b) Tipikal 2B

Rele yang dikoordinasikan pada Tipikal 2A adalah Rele INC MCC#59, Rele BKR P1B-8, Rele Gen P1B. Plot kurva pengaman eksisting Tipikal 2A ditunjukkan pada Gambar 4.13:



Gambar 4. 13 Plot kurva pengaman untuk kondisi eksisting Tipikal 2A

Pada plot kurva pengaman eksisting Tipikal 2A pada Gambar 4.13 terdapat beberapa koordinasi yang kurang baik, sehingga diperlukan *resetting* untuk memperbaiki koordinasi rele tersebut. Lingkaran merah pada Gambar 4.13 menunjukkan *setting* yang kurang tepat dengan penjabaran sebagai berikut:

1. *Pick-up overcurrent* Rele INC MCC#59 terlalu jauh dari batasan minimum yaitu 1,05 FLA (BS 142-1983 Standard), dan tidak difungsikannya instantaneous mengakibatkan ketika ada arus hubung singkat yang bekerja justru *overcurrent* nya.
2. *Pick-up overcurrent* Rele BKR P1B-8 tidak sesuai standar yaitu 1,05 FLA–1,3 FLA (BS 142-1983 Standard). Sehingga ketika ada gangguan, *overcurrent* rele BKR P1B-8 akan putus ketika arus

gangguannya sudah lebih besar dari 1,3 FLA peralatan, selain itu instantaneous tidak bekerja dengan tepat.

Resetting pada tipikal 2A dapat dilakukan setelah dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manual pada Tipikal 2A dijabarkan sebagai berikut:

Rele INC MCC#59

<i>Manufacturer</i>	: Basler BE1-51
<i>Curve Type</i>	: B6 - <i>Very Inverse</i>
FLA Sekunder Trafo	: 601,4
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 5
Isc min MCC #59	: 7,46 kA (2,4 kV)
Isc max 4 cycle MCC #59	: 9,5 kA (2,4 kV)

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA sekunder trafo} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA sekunder trafo}$

$1,05 \times 601,4 < I_{set} < 1,3 \times 601,4$

$631,47 < I_{set} < 781,82$

$\frac{631,47}{800/5} < \text{Tap} < \frac{781,82}{800/5}$

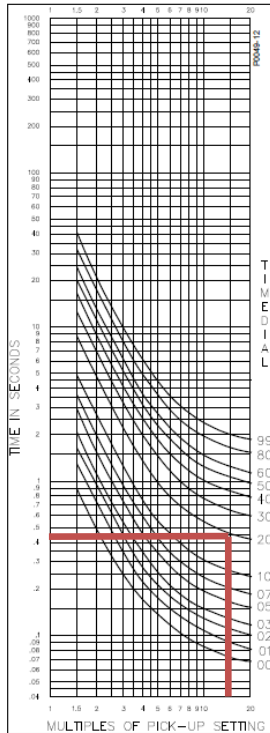
$3,94 < \text{Tap} < 4,88$

memiliki tap dengan range : 0,5 - 12 dengan sekunder 5 A dan step 0,01 sehingga dipilih tap = 3,95 A

dengan $I_{set} = 632 \text{ A}$

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus MCC#59 $t = 0,4$ detik, menggunakan kurva MTCS.



Gambar 4. 14 Tripping curve B6-Very Inverse Curve Basler BE1-51

$$MTCS = \frac{I_{sc \text{ Maksimum}}}{I_{pickup}} = \frac{9500}{632} = 15,03 \sim 15$$

memiliki tap dengan range : 1 - 99 dengan step 1
time dial = 20

Instantaneous

$1,6 \times \text{FLA sekunder trafo} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. MCC \#59}$

$1,6 \times 601,4 < I_{\gg} < 0,8 \times 7460$

$962,24 < I_{\gg} < 5968$

$\frac{962,4}{800/5} < \text{Tap} < \frac{5968}{800/5}$

$6 < \text{Tap} < 37,3$

memiliki tap dengan range : 1 - 40 x 51 pickup dengan step 0,1
 sehingga dipilih tap = 6,1 A
 dengan Iset = 3855 A

Rele BKR P1B-8

<i>Manufacturer</i>	: Basler BE-151
<i>Curve Type</i>	: B7 - <i>Extremely Inverse</i>
FLA Primer Trafo	: 104,6
<i>CT Ratio</i>	: 150 / 5
Isc min SG-51	: 10,95 kA (13,8 kV)
Isc max 4 cycle SG-51	: 19,68 kA (13,8 kV)
Isc max 4 cycle MCC #59	: 9,5 kA (2,4 kV)
Konversi ke HV	: $\frac{2,4}{13,8} \times 9,5 = 1650 \text{ A}$

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA primer trafo} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA primer trafo}$

$1,05 \times 104,6 < I_{set} < 1,3 \times 104,6$

$109,83 < I_{set} < 135,98$

$\frac{109,83}{150/5} < \text{Tap} < \frac{135,98}{150/5}$

$3,66 < \text{Tap} < 4,532$

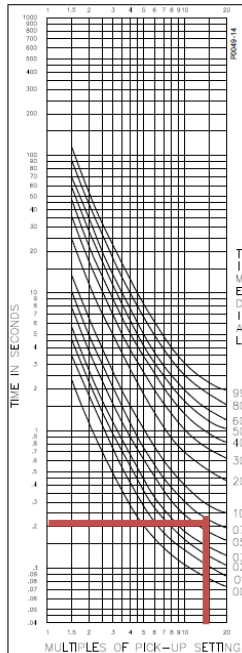
memiliki tap dengan range : 0,5 - 12 dengan sekunder 5 A dan step 0,01

sehingga dipilih tap = 3,7 A

dengan Iset = 111 A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus
 SG-51 $t = 0,2$, menggunakan kurva MTCS.



Gambar 4. 15 Tripping B7-Extremely Inverse Basler BE1-51

$$MTCS = \frac{I_{sc} \text{ Maksimum}}{I \text{ pickup}} = \frac{1650}{111} = 14,86$$

memiliki tap dengan range : 0,5 - 12 dengan step 1
sehingga dipilih *time dial* = 7

Instantaneous Pickup

$$I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. SG-51}$$

$$I_{\gg} < 0,8 \times 10950$$

$$I_{\gg} < 8760$$

$$\text{Tap} < \frac{8760}{150/5}$$

$$\text{Tap} < 292 \text{ A}$$

memiliki tap dengan range : 1 - 40 x 51 pickup dengan step 0.1

sehingga dipilih tap = 30 A
dengan Iset = 3330 A

Rele 50/51 GEN P1B

Manufacturer : GE Multilin IFCV
Curve Type : *Inverse (51) (100%)*
CT Ratio : 2000 / 5
 FLA Generator : 1073 A
 Isc min bus SG-51 : 10,95 kA (13.8 kV)
 Isc max 4 cycle SG-51 : 19,68 kA (13.8 kV)

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA Generator} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Generator}$

$1,05 \times 1073 < I_{set} < 1,4 \times 1073$

$1126,65 < I_{set} < 1502,2$

$\frac{1126,65}{2000/5} < \text{Tap} < \frac{1502,2}{2000/5}$

$2,81 < \text{Tap} < 3,75$

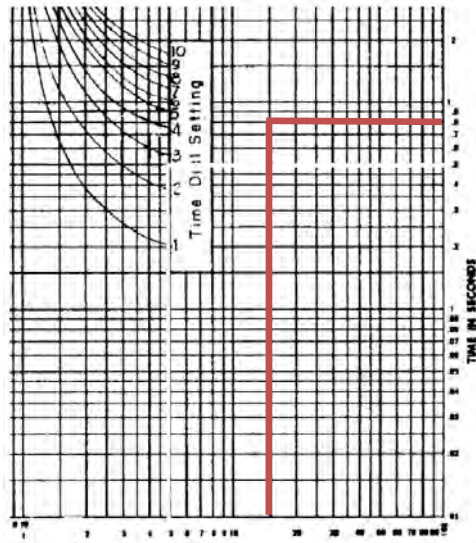
memiliki tap dengan range : 2 - 16 dengan sekunder 5 A

sehingga dipilih tap = 3 A

dengan Iset = 1200 A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus SG-51 $t = 0,8$ detik, menggunakan kurva MTCS.

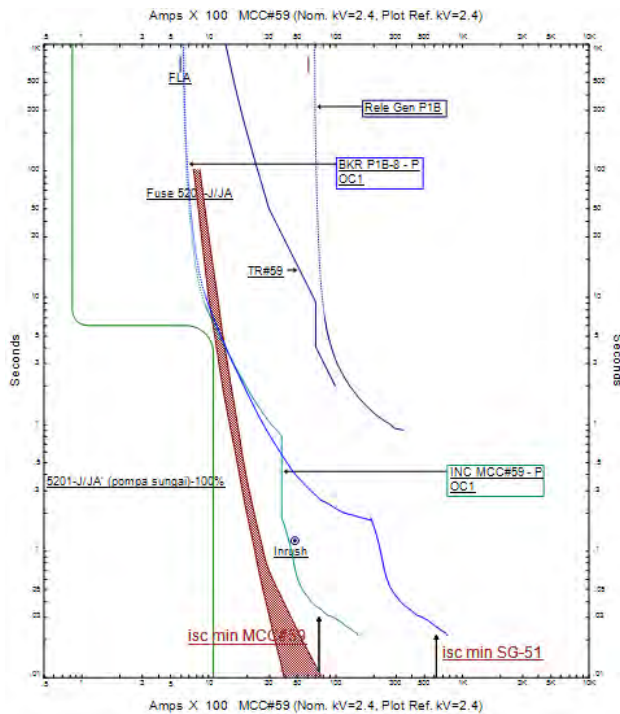


Gambar 4. 16 Tripping Inverse (51) (100%) curve GE Multilin IFCV

$$MTCS = \frac{I_{sc \text{ Maksimum}}}{I_{pickup}} = \frac{19680}{1200} = 16,4$$

memiliki tap dengan range : 1 - 10 dengan step 1
sehingga dipilih *time dial* = 5

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman. Berikut pada Gambar 4.17 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 2A setelah *resetting*:



Gambar 4. 17 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* Tipikal 2A

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.17 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Fuse bekerja untuk mengamankan jika terjadi hubung singkat, dan kontaktor mengamankan ketika ada arus lebih. Kontaktor diatur oleh rele overload.
- Rele INC MCC#59 berfungsi sebagai pelindung transformator terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat yang terjadi pada bus MCC#59
- Rele BKR P1B-8 berfungsi sebagai pelindung *bus* SG-51 ketika terjadi arus lebih hubung singkat.
- Rele 50/51 GEN P1B berfungsi untuk pelindung generator 5006-J terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.

Pada Tipikal 2B terdapat kondisi aliran arus menuju SG-51 dan menuju Old Syn bus. Rele yang dikoordinasikan pada Tipikal 2B adalah Rele Gen P1B, Rele Ekspor Daya (*up*), Rele Impor Daya (*down*), dan Rele 50/51 Tsyn-Old. Plot kurva koordinasi pengaman dibuat pada software simulasi. Plot kurva pengaman didapatkan setelah dilakukan perhitungan secara manual yang dijabarkan sebagai berikut:

Rele 50/51 GEN P1B

Perhitungan rele 50/51 GEN P1B sama seperti pada tipikal 2A.

Rele Ekspor Daya (Up)

Manufacturer : GE Multilin 760

Curve Type : *Definite Time*

CT Ratio : 800 / 5

Isc min kontribusi ke old syn bus saat gangguan di old syn bus (Kondisi F1) : 4,32 kA (13,8 kV)

Isc min kontribusi ke *old syn bus* saat gangguan di *new syn bus* (Kondisi F2) : 1,64 kA (13,8 kV)

Isc Maksimum syn bus old : 5,4 kA (13,8 kV)

Total FLA trafo dibawah SG-51 : 683,95 A

Time Overcurrent Pick Up ($I >$)

$I_{set} < 0.8 \times I_{sc \text{ min}}$

$I_{set} < 0.8 \times 4320$

$\text{Tap} < \frac{3456}{800} I_n$

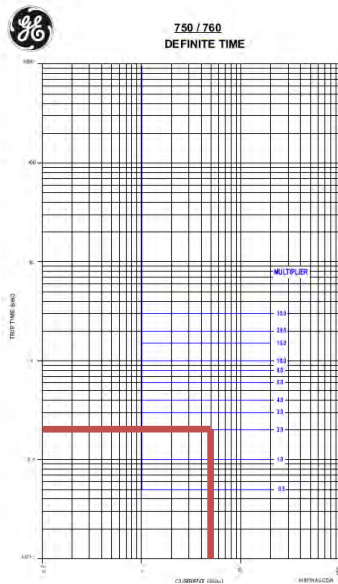
$\text{Tap} < 4,32 I_n$

Dipilih tap = 0,6 I_n

$I_{set} = 1200 \text{ A}$

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus SG-4, $t = 0,6$ detik, menggunakan kurva MTCS.



Gambar 4. 18 Tripping Definite Curve GE Multilin 760

$$MTCS = \frac{I_{sc \text{ Maksimum}}}{I_{pickup}} = \frac{5400}{1200} = 4,5 \sim 5$$

memiliki tap dengan range : 0,5 - 20 x CT sekunder dengan step 0,01 sehingga dipilih *time dial* = 7

Time Overcurrent Pick Up ($I >$)

$$1.15 \times FLA < I_{set} < 0.8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1.15 \times FLA < I_{set} < 0.8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1.15 \times 683,95 < I_{set} < 0.8 \times 4320$$

$$\frac{786,54}{800} I_n < Tap < \frac{3456}{800} I_n$$

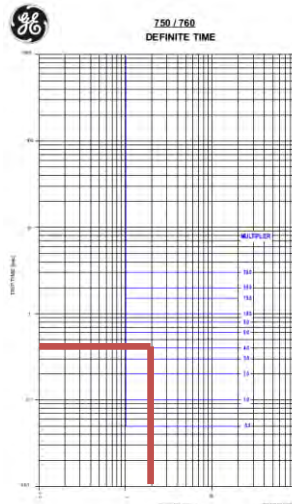
$$0,98 I_n < Tap < 4,32 I_n$$

$$\text{Dipilih tap} = 1,1 I_n$$

$$I_{set} = 2200 \text{ A}$$

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus SG-4, $t = 0,4$ detik, menggunakan kurva MTCS.



Gambar 4. 19 Tripping definite curve GE Multilin 760

$$MTCS = \frac{I_{sc \text{ Maksimum}}}{I_{pickup}} = \frac{5400}{2200} = 2,45 \sim 2$$

memiliki tap dengan range : 0,5 - 20 x CT sekunder dengan step 0,01 sehingga dipilih *time dial* = 4

Rele Impor Daya (Down)

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin 760
<i>Curve Type</i>	: ANSI - Normal Inverse
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 5
Isc min kontribusi dari SG lain saat gangguan di SG-41 (Kondisi F1)	: 7,62 kA (13,8 kV)
Isc min kontribusi dari old syn bus saat gangguan di SG-41 (Kondisi F2)	: 4,04 kA (13,8 kV)
Isc Maksimum SG-51	: 5,66 kA (13,8 kV)
Total FLA trafo dibawah SG-51	: 683,95

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,3 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 683,95 < I_{\text{set}} < 1,3 \times 683,95$$

$$718,14 < I_{\text{set}} < 889,13$$

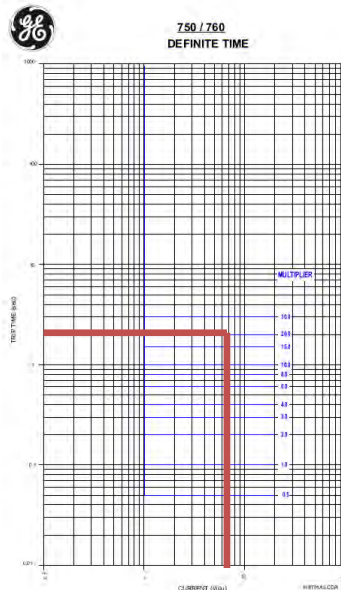
$$\frac{718,14}{800} I_n < \text{Tap} < \frac{889,13}{800} I_n$$

$$0,89 I_n < \text{Tap} < 1,11 I_n$$

Karena pada saat tap = 0,89 kurva telah menjadi definite, maka digunakan kurva definit.

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus SG-4, t = 2 detik, menggunakan kurva MTCS.



Gambar 4. 20 Tripping definite curve GE Multilin 760

$$MTCS = \frac{I_{\text{sc Maksimum}}}{I_{\text{pickup}}} = \frac{5660}{960} = 5,89 \sim 6$$

memiliki tap dengan range : 0,5 - 20 x CT sekunder dengan step 0,01 sehingga dipilih *time dial* = 14

Time Overcurrent Pick Up ($I > >$)

$I_{set} < 0.8 \times I_{sc \text{ min}}$

$I_{set} < 0.8 \times 7620$

$\text{Tap} < \frac{6096}{800} I_n$

$\text{Tap} < 7,62 I_n$

sehingga dipilih tap = 0,6 I_n

dengan $I_{set} = 1200 \text{ A}$

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,8

Time Overcurrent Pick Up ($I > > >$)

$I_{set} < 0.8 \times I_{sc \text{ min}}$

$I_{set} < 0.8 \times 4040$

$\text{Tap} < \frac{3232}{800} I_n$

$\text{Tap} < 4,04 I_n$

sehingga dipilih tap = 1,1 I_n

dengan $I_{set} = 2160 \text{ A}$

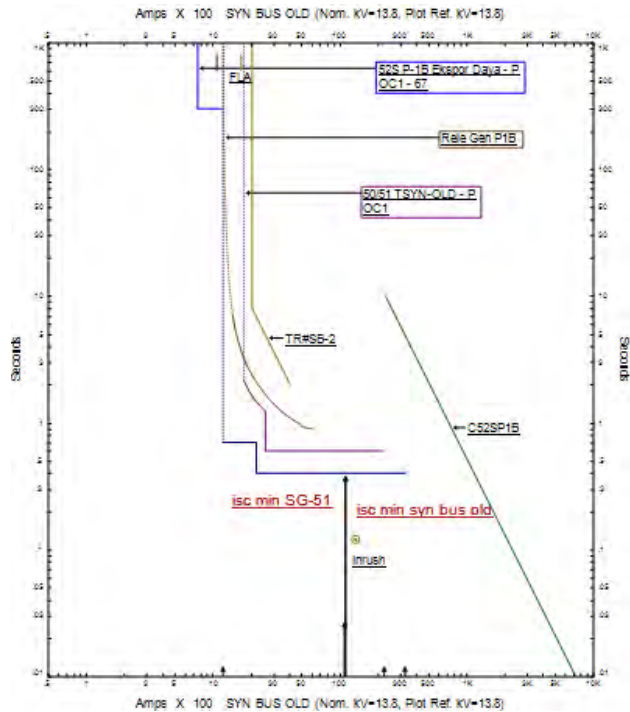
Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,4

Rele 50/51 GEN P1B

Perhitungan rele 50/51 GEN P1B sama seperti pada tipikal 1B.

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman dengan Rele Ekspor Daya (*up*) untuk gangguan yang terjadi di *syn bus old* dan *syn bus new*. Pada Gambar 4.21 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 2B:



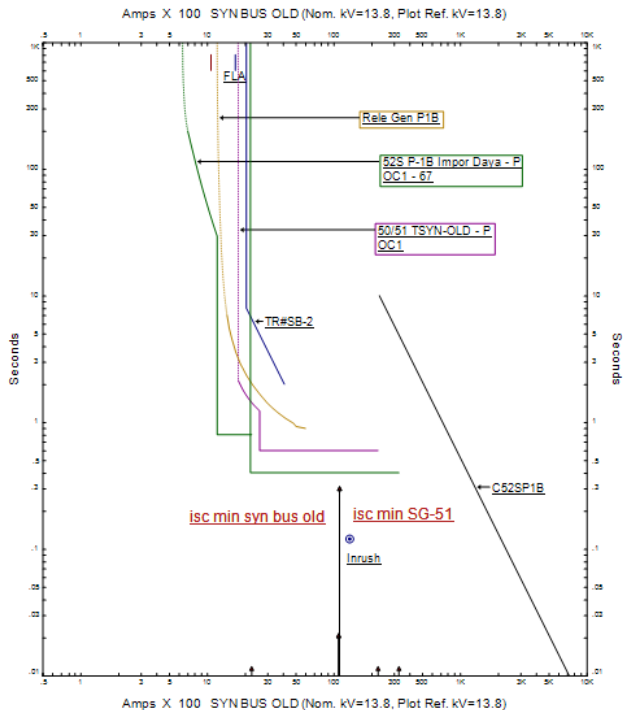
Gambar 4. 21 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* dengan arah arus up Tipikal 2B

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.21 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele GEN P1B berfungsi untuk pelindung generator 5006-J terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.
- Rele Ekspor Daya (*up*) berfungsi sebagai pelindung dari bus SG-51 apabila terjadi gangguan hubung singkat pada *old syn bus* dan *new syn bus*.
- Rele 50/51 TSYN-OLD berfungsi sebagai pelindung TR#SB-2 saat ada gangguan di *old syn bus*.

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman dengan rele ekspor daya (*down*) untuk

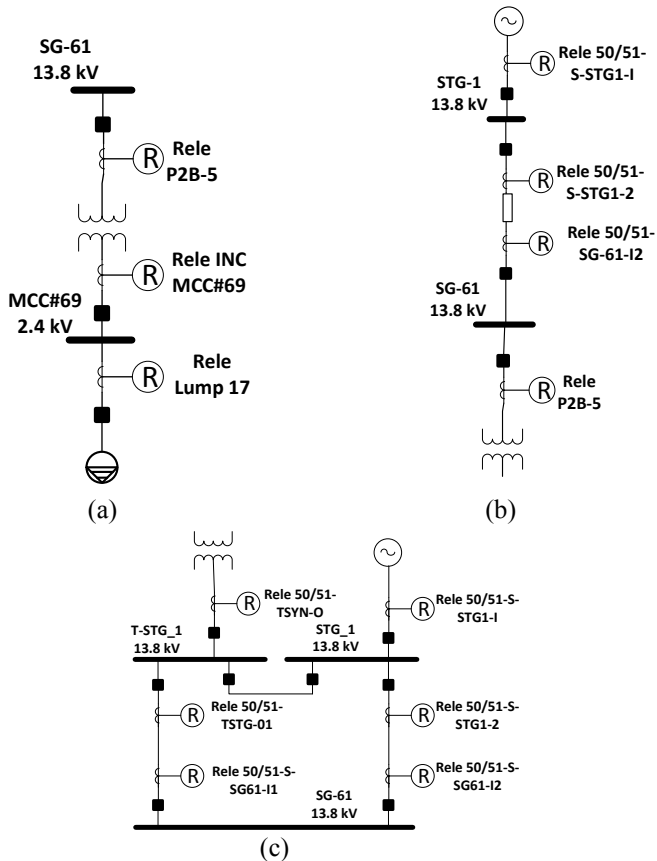
gangguan yang terjadi di SG-51. Pada Gambar 4.22 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 2B:



Gambar 4. 22 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* dengan arah arus down tipikal 2B

4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Koordinasi Tipikal 3 ini merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari beban beban Motor Lump 17 sampai dengan generator STG-1 dan dilanjutkan melalui trafo TR#SB-1 menuju *new syn bus*. Tipikal 3 dibagi menjadi Tipikal 3A, Tipikal 3B dan Tipikal 1C untuk mempermudah *setting*. Koordinasi Tipikal ini ditunjukkan oleh gambar 4.23 sebagai berikut:



Gambar 4. 23 (a) Tipikal 3A, (b) Tipikal 3B, dan (c) Tipikal 3C

Relé yang dikoordinasikan pada Tipikal 3A adalah Relé Lump 17, Relé INC MCC#69, Relé P2B-5. *Setting* pada Tipikal 3A ini dapat dilakukan setelah dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan untuk Tipikal 3A dapat dijabarkan sebagai berikut :

Relé Lump 17

Manufacturer

: Merlin Gerin Sepam 2000

Curve Type

: *Standard Inverse*

FLA Lump : 360,8 A
 CT Ratio : 1000 / 5
 Isc min MCC #69 : 8,42 kA (2,4 kV)
 Isc max 4 cycle MCC #69 : 11,11 kA (2,4 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Lump} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Lump}$$

$$1,05 \times 360,8 < I_{set} < 1,3 \times 360,8$$

$$378,84 < I_{set} < 469,04$$

$$\frac{378,84}{1000} I_n < \text{Tap} < \frac{469,04}{1000} I_n$$

$$0,378 I_n < \text{Tap} < 0,469 I_n$$

memiliki tap dengan range 0,3 - 2,4 x CT sekunder dengan steps 0,05 A

sehingga dipilih tap = 0,4 I_n

dengan I_{set} = 400 A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus MCC#69 (t) = 0,2 detik saat terjadi gangguan hubung singkat maksimum 30 cycle pada bus MCC#69. Sepam 2000 menggunakan standar kurva IEC.

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,2 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc \text{ Max bus MCC \#69}}{\text{tap} \times \text{CT primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,2 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ Max bus MCC \#69}}{\text{tap} \times \text{CT primer}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,2 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{11110}{0,4 \times 1000} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,291$$

memiliki tap dengan range 0,1 -12,5 dengan step 0,1

sehingga dipilih *time dial* = 0,3

Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA Lump} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. MCC \#69}$

$1,6 \times 360,8 < I_{\gg} < 0,8 \times 8420$

$577,28 < I_{\gg} < 6736$

$\frac{577,28}{1000} In < \text{Tap} < \frac{6736}{1000} In$

$0,577 In < \text{Tap} < 6,736 In$

memiliki tap dengan range 0,3 - 24x CT sekunder dengan step 1

sehingga dipilih tap = 6,3 In

dengan Iset = 6300 A

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,1 detik

Rele INC MCC#69

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 2000

Curve Type : *Standard Inverse*

FLA Sekunder Trafo : 601,4 A

CT Ratio : 1500 / 5

Isc min MCC #69 : 8,42 kA (2,4 kV)

Isc max 4 cycle MCC #69 : 11,11 kA (2,4 kV)

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA Sekunder Trafo} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Sekunder Trafo}$

$1,05 \times 601,4 < I_{set} < 1,3 \times 601,4$

$631,47 < I_{set} < 781,82$

$\frac{631,47}{1500} In < \text{Tap} < \frac{781,82}{1500} In$

$0,42 In < \text{Tap} < 0,52 In$

memiliki tap dengan range 0,3 - 2,4 x CT sekunder dengan steps 0,05

sehingga dipilih tap = 0,45 In

dengan Iset = 675 A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus MCC#69 (t) = 0,6 detik, menggunakan kurva IEC.

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,6 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus MCC \#69}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,8 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus MCC \#69}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,8 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{11110}{0,45 \times 1500}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,97$$

memiliki tap dengan range 0,1 - 12,5 dengan step 0,1
sehingga dipilih *time dial* = 0,97 detik

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Sekunder Trafo} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. MCC \#69}$$

$$1,6 \times 601,4 < I_{\gg} < 0,8 \times 8420$$

$$962,24 < I_{\gg} < 6736$$

$$\frac{962,24}{1500} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{6736}{1500} \text{ In}$$

$$0,384 \text{ In} < \text{Tap} < 4,49 \text{ In}$$

memiliki tap dengan range 0,3 - 24x CT sekunder dengan step 1
sehingga dipilih tap = 4,3 In
dengan Iset = 6450 A

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,3 detik

Rele P2B-5

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 2000

Curve Type : *Standard Inverse*

FLA Primer Trafo : 104,6 A

CT Ratio : 200 / 5

Isc min SG-61 : 13,21 kA (13.8 kV)

Isc max 4 cycle SG-61 : 17,76 kA (13.8 kV)

Isc max 4 cycle MCC #69 : 11,11 kA (2,4 kV)

Konversi ke HV : $\frac{2,4}{13,8} \times 11,11 = 1932,17 \text{ A}$

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Primer Trafo} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Primer Trafo}$$

$$1,05 \times 104,6 < I_{set} < 1,3 \times 104,6$$

$$109,83 < I_{set} < 135,98$$

$$\frac{109,83}{200} In < Tap < \frac{135,98}{200} In$$

$$0,549 In < Tap < 0,732 In$$

dipilih tap dengan range 0,3 - 2,4 x CT sekunder dengan steps 0,05

sehingga dipilih tap = 0,6 In

dengan Iset = 120 A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus SG-61 (t) = 0,3 detik, menggunakan kurva IEC.

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus MCC \#69}}{\text{tap x CT primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus SG-61}}{\text{tap x CT primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{17760}{0,6 \times 200}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,668$$

memiliki tap dengan range 0,1 -12,5 dengan step 0,1

sehingga dipilih *time dial* = 0,67

Instantaneous Pickup

$$I_{sc} \text{ max bus MCC \#69} \times \frac{kV \text{ Sekunder}}{kV \text{ Primer}} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. SG-61}$$

$$1932,17 < I_{set} < 0,8 \times 13210$$

$$1932,17 < I_{set} < 10568$$

$$\frac{1932,17}{200} In < Tap < \frac{110568}{200} In$$

$$9,66 In < Tap < 52,84 In$$

memiliki tap dengan range 0,3 - 24x CT sekunder dengan step 1

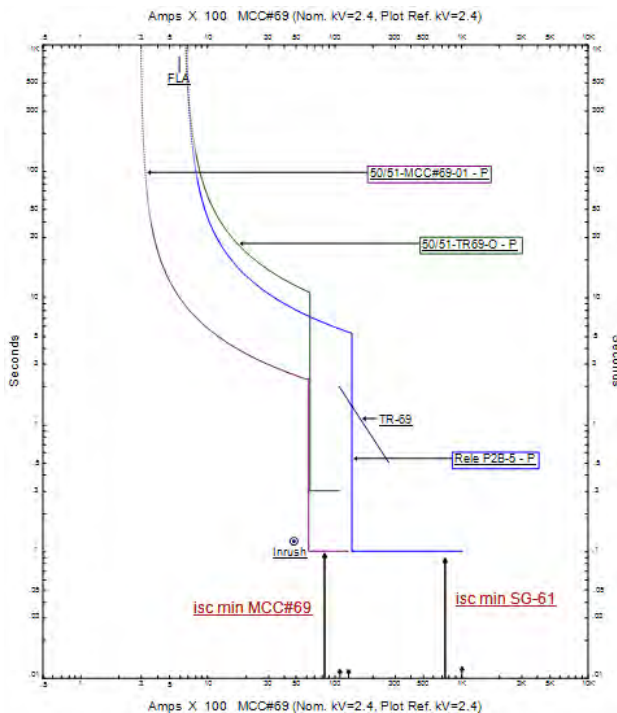
sehingga dipilih tap = 12 In

dengan Iset = 2400 A

Time delay

sehingga dipilih $time\ delay = 0,1$ detik

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman. Berikut pada Gambar 4.24 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan perhitungan manual pada Tipikal 3A:



Gambar 4. 24 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* Tipikal 3A

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.24 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele Lump 17 berfungsi untuk mengamankan beban Lump 17 terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.

- Rele MCC#69 berfungsi sebagai pengaman sisi sekunder trafo TR#69 jika terjadi hubung singkat di bus MCC#69.
- Rele P2B-5 berfungsi sebagai pengaman sisi primer trafo TR#69 jika terjadi hubung singkat di bus SG-61.

Rele yang dikoordinasikan pada Tipikal 3B adalah Rele 50/51-SG-61-I2, Rele 50/51-S-STG1-2, Rele 50/51-S-STG1-I. *Setting* pada Tipikal 3B ini dapat dilakukan setelah dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan untuk Tipikal 3B dapat dijabarkan sebagai berikut :

Rele P2B-5

Perhitungan Rele P2B-5 sama seperti pada tipikal 3A.

Rele 50/51-SG-61-I2

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 2000
Curve Type : *Standard Inverse*
CT Ratio : 2000 / 5
FLA Generator : 1966 A
Isc min SG-61 : 13,04 kA (13.8 kV)
Isc max 4 cycle SG-61 : 17,63 kA (13.8 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,3 \times FLA$$

$$1,05 \times 1966 < I_{set} < 1,3 \times 1966$$

$$2064,3 < I_{set} < 2555,8$$

$$\frac{2064,3}{2000} I_n < Tap < \frac{2555,8}{2000} I_n$$

$$1,03 I_n < Tap < 1,27 I_n$$

memiliki tap dengan range 0,3 - 24x CT sekunder dengan step 0,05

Dipilih tap = 1,05 I_n

$$I_{set} = 2100 \text{ A}$$

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat minimum di bus SG-61 (t) = 0,7 detik, menggunakan kurva IEC.

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,7 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus SSG-61}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}} \right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,7 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus SG-61}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,7 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{17630}{0,9 \times 2000} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,693$$

memiliki tap dengan range 0,1 - 12,5 dengan step 0,1
sehingga dipilih *time dial* = 0,7

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. SG-61}$$

$$1,6 \times 1966 < I_{\gg} < 0,8 \times 13210$$

$$3145,6 < I_{\gg} < 10568$$

$$\frac{3145,6}{2000} In < \text{Tap} < \frac{10568}{2000} In$$

$$1,572 In < \text{Tap} < 5,284 In$$

memiliki tap dengan range 0,3 - 24 x CT sekuunder dengan step 1
sehingga dipilih tap = 4,3 In
dengan Iset = 8600 A

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,5 detik

Rele 50/51-S-STG1-2

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 2000

Curve Type : *Standard Inverse*

CT Ratio : 2000 / 5

FLA Generator : 1966A

Isc min bus STG-1 : 13,06 kA (13.8 kV)

Isc max 4 cycle STG-1 : 17,64 kA (13.8 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,3 \times FLA$$

$$1,05 \times 1966 < I_{set} < 1,3 \times 1966$$

$$2064,3 < I_{set} < 2555,8$$

$$\frac{2064,3}{2000} In < \text{Tap} < \frac{2555,8}{2000} In$$

$$1,03 In < \text{Tap} < 1,27 In$$

memiliki tap dengan range 0,3 - 24x CT sekunder dengan step 0,05
sehingga dipilih tap = 1,05 In
dengan Iset = 2100 A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus STG-1 ($t = 0,7$ detik, menggunakan kurva IEC.

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} x \frac{T}{\beta}$$

$$0,7 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus STG-1}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} x \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,7 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus STG-1}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,7 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{17640}{0,9 \times 2000}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,693$$

memiliki tap dengan range 0,1 - 12,5 dengan step 0,1
sehingga dipilih *time dial* = 0,693

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. STG-1}$$

$$1,6 \times 1966 < I_{\gg} < 0,8 \times 13060$$

$$3145,6 < I_{\gg} < 10448$$

$$\frac{3145,6}{2000} In < \text{Tap} < \frac{10448}{2000} In$$

$$1,572 In < \text{Tap} < 5,224 In$$

memiliki tap dengan range 0,3 - 24 x CT sekuunder dengan step 1
sehingga dipilih tap = 3,3 In
dengan Iset = 6600 A

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,5 detik

Rele 50/51-S-STG1-I

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin Sepam 2000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 2000 / 5
FLA	: 1966 A
Isc min bus STG-1	: 13,06 kA (13.8 kV)
Isc max 4 cycle STG-1	: 17,64 kA (13.8 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,3 \times FLA$$

$$1,05 \times 1966 < I_{set} < 1,3 \times 1966$$

$$2064,3 < I_{set} < 2555,8$$

$$\frac{2064,3}{2000} I_n < Tap < \frac{2555,8}{2000} I_n$$

$$1,03 I_n < Tap < 1,27 I_n$$

memiliki tap dengan range 0,3 - 2,4 dengan step 0,05

Dipilih tap = 1,05 I_n

$$I_{set} = 2100 \text{ A}$$

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat maksimum di bus STG-1 (t) = 0,8 detik, menggunakan kurva IEC.

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,8 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc \text{ Max bus STG-1}}}{tap \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,8 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ Max bus STG-1}}}{tap \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,8 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{17640}{1,05 \times 2000}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,73$$

memiliki tap dengan range 0,1 - 12,5 dengan step 0,1
sehingga dipilih $time \text{ dial} = 0,73$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. STG}_1$$

$$1,6 \times 1966 < I_{\gg} < 0,8 \times 13240$$

$$3145,6 < I_{\gg} < 10592$$

$$\frac{3145,6}{2000} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{10592}{2000} \text{ In}$$

$$1,572 \text{ In} < \text{Tap} < 5,296 \text{ In}$$

memiliki tap dengan range 0,3 - 24 x CT sekunder dengan step 1

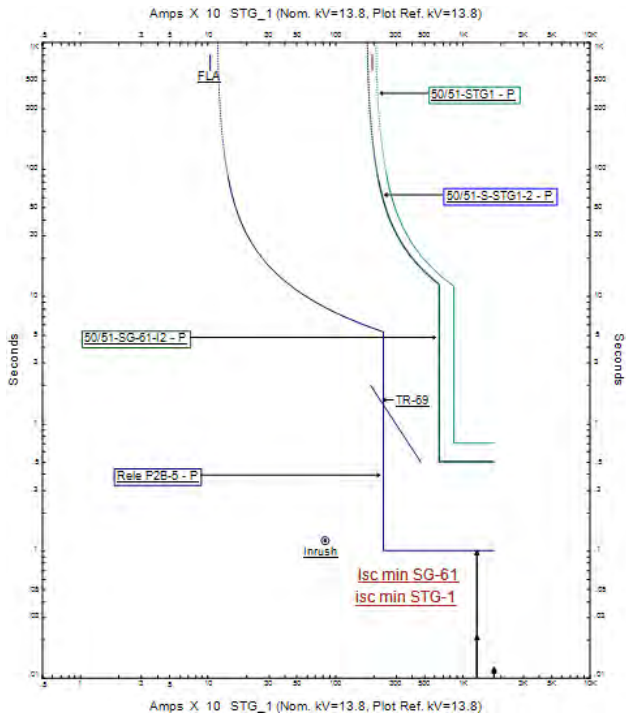
sehingga dipilih tap = 3,3 In

dengan Iset = 6600 A

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,7 detik

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman. Berikut pada Gambar 4.25 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan perhitungan manual pada Tipikal 3B:



Gambar 4. 25 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* Tipikal 3B

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.25 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele 50/51-SG-61-I2, Rele 50/51-S-STG1-2, dan Rele 50/51-S-STG1-I berfungsi sebagai pengaman dari Generator STG-1 apabila ada hubung singkat pada SG-61.

Rele yang dikoordinasikan pada Tipikal 3C, adalah Rele 50/51-S-STG1-I, Rele 50/51-S-STG1-2, Rele 50/51-SG-61-I2, Rele 50/51-SG-61-I1, Rele 50/51-TSTG-01, Rele 50/51-TSYN-O. *Setting* pada Tipikal 3B ini dapat dilakukan setelah dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan untuk Tipikal 3B dapat dijabarkan sebagai berikut :

Rele 50/51-S-STG1-I

Perhitungan rele 50/51-S-STG1-I sama seperti pada tipikal 3A.

Rele 50/51-S-STG1-2

Perhitungan rele 50/51-S-STG1-2 sama seperti pada tipikal 3A.

Rele 50/51-SG-61-I2

Perhitungan 50/51-SG-61-I2 sama seperti pada tipikal 3A.

Rele 50/51-SG-61-I1

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin Sepam 2000
<i>Curve Type</i>	: Standard Inverse
<i>CT Ratio</i>	: 2000 / 5
FLA sekunder trafo	: 1673
Isc min SG-61	: 13,04 kA (13,8 kV)
Isc max 4 cycle SG-61	: 17,63 kA (13,8 kV)

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA sekunder trafo} < \text{Iset} < 1,3 \times \text{FLA pada sekunder trafo}$

$1,05 \times 1673 < \text{Iset} < 1,3 \times 1673$

$1756,65 < \text{Iset} < 2174,9$

$\frac{1756,65}{2000} \text{In} < \text{Tap} < \frac{2174,9}{2000} \text{In}$

$0,87 \text{In} < \text{Tap} < 1,08 \text{In}$

memiliki tap dengan range : $0,3 - 2,4 \times \text{CT sekunder dengan step } 0,1$

sehingga dipilih tap = $0,9 \text{In}$

dengan Iset = 1800A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat minimum di bus SG-61 (t) = 0,5 detik, menggunakan kurva IEC.

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{\text{Isc Max bus SSG-61}}{\text{tap} \times \text{CT primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{\text{Isc Max bus SG-61}}{\text{tap} \times \text{CT primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{17630}{0,9 \times 2000} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,49$$

memiliki tap dengan range 0,1 - 12,5 dengan step 0,1
sehingga dipilih *time dial* = 0,49

Instantaneous Pickup

1,6 x FLA Sekunder Trafo < I_{set} < 0,8 x Isc Min. SG-61

1,6 x 1673 < I_{set} < 0,8 x 13040

2676,8 < I_{set} < 10432

$\frac{2676,88}{2000} In < Tap < \frac{6832}{2000} In$

1,338 In < Tap < 5,116 In

memiliki tap dengan range : 0,1 - 24 x CT sekunder dengan step 0,1
sehingga dipilih tap = 4,3 In
dengan Iset = 8600 A

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,3 detik

Rele 50/51-TSTG-01

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 2000

Curve Type : Standard Inverse

CT Ratio : 2000 / 5

FLA Sekunder Trafo : 1673

Isc min T-STG-1 : 11,97 kA (13,8 kV)

Isc max 4 cycle T-STG-1 : 16,20 kA (13,8 kV)

Time Overcurrent Pickup

1,05 x FLA sekunder trafo < Iset < 1,3 x FLA pada sekunder trafo

1,05 x 1673 < Iset < 1,3 x 1673

1756,65 < Iset < 2174,9

$\frac{1756,65}{2000} In < Tap < \frac{2174,9}{2000} In$

0,87 In < Tap < 1,08 In

memiliki tap dengan range : 0,3 - 2,4 x CT sekunder dengan step 0,1
sehingga dipilih tap = 0,9 In
dengan Iset = 1800A

Time dial

Dipilih waktu operasi ketika terjadi hubung singkat minimum di bus T-STG-1 (t) = 0,5 detik.

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$
$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus SSG-61}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$
$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus SG-61}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$
$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{16200}{0,9 \times 2000}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,409$$

memiliki tap dengan range 0,1 - 12,5 dengan step 0,1 sehingga dipilih $time \text{ dial} = 0,41$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Sekunder Trafo} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ T-STG1}$$

$$1,6 \times 1673 < I_{\gg} < 0,8 \times 11970$$

$$2676,8 < I_{\gg} < 9576$$

$$\frac{2676,88}{2000} I_n < \text{Tap} < \frac{6832}{2000} I_n$$

$$1,338 I_n < \text{Tap} < 4,788 I_n$$

memiliki tap dengan range : 0,1 - 24 x CT sekunder dengan step 0,1

sehingga dipilih tap = 1,3 I_n

dengan $I_{set} = 2600 \text{ A}$

Time delay

sehingga dipilih $time \text{ delay} = 0,3 \text{ detik}$

Relé 50/51-TSYN-O

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 40

Curve Type : RI

FLA pada sekunder trafo : 1673

CT Ratio : 2000 / 5

$I_{sc} \text{ min T-STG-1}$: 11,97 kA (13,8 kV)

$I_{sc} \text{ max 4 cycle T-STG-1}$: 16,2 kA (13,8 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Primer Trafo} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Primer Trafo}$$

$$1,05 \times 1673 < I_{set} < 1,3 \times 11970$$

$$1756,65 < I_{set} < 15561$$

$$\frac{1756,65}{2000} In < Tap < \frac{15561}{2000} In$$

$$0,87 In < Tap < 7,78 In$$

memiliki tap dengan range : 0,3 - 2,4 x CT sekunder dengan step 0,1

sehingga dipilih tap = 0,9 In

dengan Iset = 1800A

Time dial

sehingga dipilih *time dial* = 0,8

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Sekunder Trafo} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. T-STG1}$$

$$1,6 \times 1673 < I_{\gg} < 0,8 \times 8540$$

$$2676,8 < I_{\gg} < 6832$$

$$\frac{2676,88}{2000} In < Tap < \frac{6832}{2000} In$$

$$1,338 In < Tap < 3,416 In$$

memiliki tap dengan range : 0,1 - 24 x CT sekunder dengan step 0,1

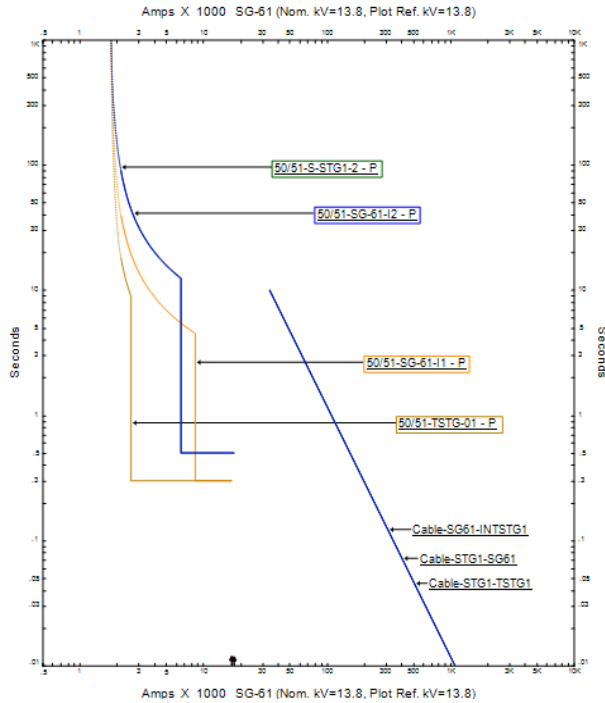
sehingga dipilih tap = 1,5 In

dengan Iset = 3000 A

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,6 detik

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman. Pada Gambar 4.26 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan perhitungan manual pada Tipikal 3C:



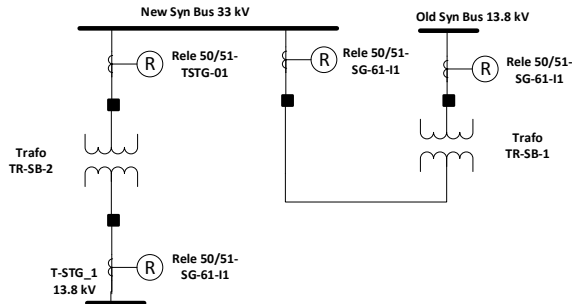
Gambar 4. 26 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* Tipikal 3C

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.26 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele 50/51-SG-61-I2, Rele 50/51-S-STG1-2, dan Rele 50/51-S-STG1-I berfungsi sebagai pengaman dari Generator STG-1 apabila ada hubung singkat pada SG-61.
- Rele 50/51-SG-61-I1, Rele 50/51-TSTG-01 dan Rele 50/51-TSYN-O, dan Rele 50/51-S-STG1-I berfungsi sebagai pengaman dari Generator STG-1 apabila ada hubung singkat pada SG-61.
- Rele 50/51-TSYN-O berfungsi sebagai pengaman dari sisi sekunder dari Trafo TR#SB-1 apabila ada hubung singkat pada bus T-STG1.

4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4

Koordinasi Tipikal 4 ini merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari sisi sekunder dari TR#SB-1 sampai sekunder trafo TR#SB-2 yang menghubungkan *new syn bus* dan *old syn bus*. Koordinasi Tipikal ini ditunjukkan oleh gambar 4.27 sebagai berikut:



Gambar 4. 27 Koordinasi Proteksi Tipikal 4

Rele yang dikoordinasikan pada Tipikal 4 adalah Rele 50/51-TSYN-O, Rele 50/51-TSTG1-I, Rele 50/51-TSYN-NEW, Rele 50/51-TSYN-OLD. *Setting* pada Tipikal 4 ini dapat dilakukan setelah dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan untuk Tipikal 4 dapat dijabarkan sebagai berikut :

Rele 50/51-TSYN-O

Perhitungan rele 50/51-TSYN-O sama seperti pada tipikal 3B.

Rele 50/51-TSTG1-I

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin Sepam 40
<i>Curve Type</i>	: <i>RI Inverse</i>
FLA Primer Trafo	: 699,8 A
<i>CT Ratio</i>	: 1600 / 5
Isc minkontribusi ke <i>syn bus new</i>	: 2,06 kA (33 kV)
Isc max 4 cycle <i>syn bus new</i>	: 3,22 kA (33 kV)
Isc max 4 cycle T-STG1	: 16,20 kA (13.8 kV)
Konversi ke HV	: $\frac{13,8}{33} \times 16200 = 6774,54 \text{ A}$

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA Primer Trafo} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Primer Trafo}$

$1,05 \times 699,8 < I_{set} < 1,3 \times 699,8$

$734,79 < I_{set} < 909,74$

$\frac{734,79}{1600} In < \text{Tap} < \frac{909,74}{1600} In$

$0,459 In < \text{Tap} < 0,568 In$

memiliki tap dengan range : 0,05 - 2,4 x CT sekunder dengan step 0,01

sehingga dipilih tap = 0,46 In

dengan Iset = 736A

Time dial

sehingga dipilih time dial = 0,75

Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA Primer Trafo} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. syn bus new}$

$1,6 \times 699,8 < I_{\gg} < 0,8 \times 2060$

$1119,68 < I_{\gg} < 1648$

$\frac{1119,68}{1600} In < \text{Tap} < \frac{1648}{1600} In$

$0,699 In < \text{Tap} < 0,824 In$

memiliki tap dengan range : 0,05 - 24 x CT sekunder dengan step 0,1

sehingga dipilih tap = 0,75 In

dengan Iset = 1200 A

Time delay

sehingga dipilih time delay = 0,6 detik

Rele 50/51 TSYN-NEW

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : RI Inverse

FLA Primer Trafo : 699,8 A

CT Ratio : 2000 / 1

Isc min ke TR#SB-2 : 2,06 kA (33 kV)

Isc max : 3,22 kA (33 kV)

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA Primer Trafo} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Primer Trafo}$

$1,05 \times 699,8 < I_{set} < 1,3 \times 699,8$

$$734,79 < I_{set} < 909,74$$

$$\frac{734,79}{2000} I_n < Tap < \frac{909,74}{2000} I_n$$

$$0,367 I_n < Tap < 0,454 I_n$$

memiliki tap dengan range : 0,1 - 2,4 x CT sekunder dengan step 0,1

sehingga dipilih tap = 0,37 I_n

dengan $I_{set} = 740 \text{ A}$

Time dial

sehingga dipilih *time dial* = 0,75

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Primer Trafo} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ Min.}}$$

$$1,6 \times 699,8 < I_{\gg} < 0,8 \times 2060$$

$$1119,68 < I_{\gg} < 1648$$

$$\frac{1119,68}{2000} I_n < Tap < \frac{1648}{2000} I_n$$

$$0,559 I_n < Tap < 0,824 I_n$$

memiliki tap dengan range : 0,05 - 24 x CT sekunder dengan step 0,1

sehingga dipilih tap = 0,6 I_n

dengan $I_{set} = 1200 \text{ A}$

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,6 detik

Rele 50/51 TSYN-OLD

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : *RI Inverse*

FLA pada sekunder trafo : 1673

CT Ratio : 2000 / 5

$I_{sc \text{ min ke syn bus old}}$: 3,31 kA (13,8 kV)

$I_{sc \text{ max}}$: 22,45 kA (13,8 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Primer Trafo} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Primer Trafo}$$

$$1,05 \times 1673 < I_{set} < 1,3 \times 1673$$

$$1756,65 < I_{set} < 2174,9$$

$$\frac{1756,65}{2000} I_n < Tap < \frac{2174,9}{2000} I_n$$

$$0,87 \text{ In} < \text{Tap} < 1,08 \text{ In}$$

memiliki tap dengan range : 0,05 - 2,4 x CT sekunder dengan step 0,01
 sehingga dipilih tap = 0,88 In
 dengan Iset = 1760A

Time dial

sehingga dipilih *time dial* = 0,7

Instantaneous Pickup

$$I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. syn bus old}$$

$$I_{\gg} < 0,8 \times 3310$$

$$I_{\gg} < 2648$$

$$\text{Tap} < \frac{2648}{2000} \text{ In}$$

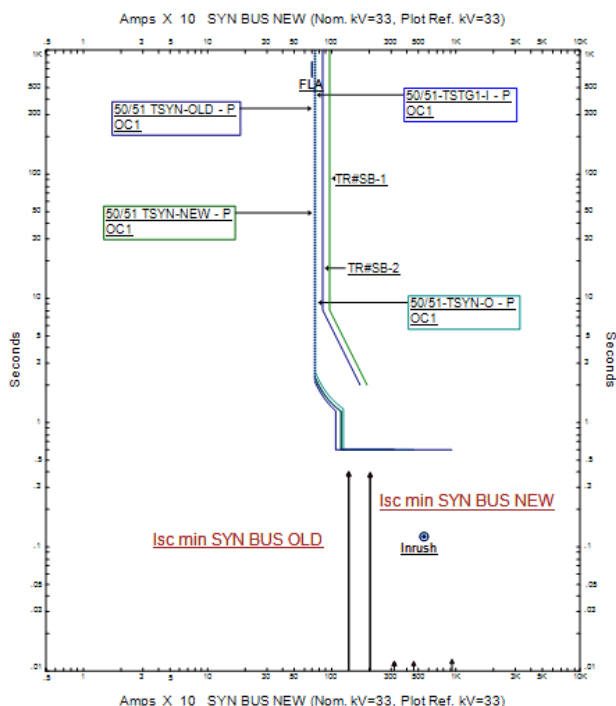
$$\text{Tap} < 1,32 \text{ In}$$

memiliki tap dengan range : 0,05 - 24 x CT sekunder dengan step 0.1
 sehingga dipilih tap = 1,3 In
 dengan Iset = 2600 A

Time delay

sehingga dipilih *time delay* = 0,6 detik

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman. Pada Gambar 4.28 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan perhitungan manual pada Tipikal 4:



Gambar 4. 28 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* Tipikal 4

Setelah dilakukan perhitungan manual seperti pada tipikal-tipikal yang telah dipilih, dapat dibuat tabel eksisting dan *resetting* serta dilakukan *setting* pada tipikal rele arus lebih yang lainnya. Hasil *setting* dan *resetting* ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Tabel eksisting dan *resetting* rele arus lebih

Rele ID	Manufacture	Setting Eksisting				Resetting			
		I>	t>	I>>	t>>	I>	t>	I>>	t>>
Feeder 4209 JCM	Cuttler Hammer-MP 3000	1,15In	7	10In	0,1	In	0,975	6In	0,1
INC MCC #44	GE Multilin IAC-51A	7A	8	x	x	4A	10	x	x
BKR P4-2	Merlin Gerin Sepam 1000	0,6In	2	x	x	0,4In	3	7,8In	0,3
Gen P4	GE Multilin G60	0,45A	9	x	x	2,4A	1	3,95A	0,5
50/51 TSYN-OLD	Merlin Gerin Sepam 80	x	x	x	x	0,88In	0,7	1,3In	0,6
INC MCC#59	Basler BE1-51	5A	20	x	x	3,95A	20	6A	x
BKR P1B-8	Basler BE1-51	5,25A	40	12	x	3,7A	7	30A	x
50/51 Gen P1B	GE Multilin IFCV	3A	10	x	x	3A	5	x	x
Rele Lump 17	Merlin Gerin Sepam 2000	x	x	x	x	0,3In	0,3	6,35In	0,1

Lanjutan **Tabel 4. 3** Tabel eksisting dan *resetting* rele arus lebih

<i>Rele ID</i>	<i>Manufacture</i>	<i>Setting Eksisting</i>				<i>Resetting</i>			
		I>	t>	I>>	t>>	I>	t>	I>>	t>>
INC MCC#69	Merlin Gerin Sepam 2000	x	x	x	x	0,45In	1,08	4,3In	0,3
P2B-5	Merlin Gerin Sepam 2000	x	x	x	x	0,6In	0,67	12In	0,1
50/51-SG- 61-I2	Merlin Gerin Sepam 2000	x	x	x	x	1,05In	0,7	4,3In	0,5
50/51-S- STG1-2	Merlin Gerin Sepam 2000	x	x	x	x	1,05In	0,693	3,3In	0,5
50/51-S- STG1-I	Merlin Gerin Sepam 2000	x	x	x	x	1,05In	0,73	3,3In	0,7
50/51-SG- 61-I1	Merlin Gerin Sepam 2000	x	x	x	x	0,9In	0,49	4,3In	0,3
50/51- TSTG-01	Merlin Gerin Sepam 2000	x	x	x	x	0,9In	0,41	1,3In	0,3
50/51- TSYN-O	Merlin Gerin S40	x	x	x	x	0,9In	0,8	1,5In	0,6
50/51- TSTG1-I	Merlin Gerin S40	x	x	x	x	0,46In	0,75	0,75In	0,6
50/51 TSYN- NEW	Merlin Gerin S80	x	x	x	x	0,37In	0,75	0,6In	0,6

Lanjutan **Tabel 4. 3** Tabel eksisting dan *resetting* rele arus lebih

Rele ID	Manufacture	Setting Eksisting				Resetting			
		I>	t>	I>>	t>>	I>	t>	I>>	t>>
50/51 TSYN- OLD	Merlin Gerin Sepam 80	x	x	x	x	0,88In	0,7	1,3In	0,6
INC MCC#2007	Merlin Gerin Sepam 1000	0,6In	3	12In	0	0,85In	1,9	7,8In	0,3
50/51- CB1PB1	Merlin Gerin Sepam 2000	0,75In	1,5	4,6In	0,4	0,6In	3	11,3In	0,1
50/51-CB- P2-2	GE Multilin IAC-51	6,3A	5	80A	x	6A	6	49A	x
50/51-Gen P2	GE Multilin G30	0,45In	1,5	x	x	0,48In	0,5	x	x
INC MCC#38	GE Multilin IAC-51	6A	5,5	x	x	5A	1	25A	x
50/51- 3002J	GE Multilin IAC-51	5,5A	6,5	120	x	5A	2	17A	x
50/51-Gen P3	Basler BE1-51	0,45In	1,5	x	x	3,9A	7	x	x

Keterangan:

x = tidak diaktifkan

Tabel 4. 4 Tabel eksisting dan *resetting* rele arus lebih pada saluran menuju old syn bus

Rele ID	MFR	Setting					
		I>	t>	I>>	t>>	I>>>	t>>>
Ekspor Daya P4	GE Multilin 760	2,7In	4	1,5In	7	x	x
Impor Daya P4	GE Multilin 760	1,2In	20	1,5In	0,8	2,7In	0,4
Ekspor Daya P1B	GE Multilin 760	0,6In	7	1,1In	4	x	x
Impor Daya P1B	GE Multilin 760	0,89In	14	0,6In	0,4	1,1In	0,4
Ekspor Daya P3	GE Multilin 760	2,7In	4	1,5In	7	x	x
Impor Daya P3	GE Multilin 760	0,75In	17	1,5In	0,7	2,7In	0,4
Ekspor Daya P2	GE Multilin 760	2,7In	4	1,5In	7	x	x
Impor Daya P2	GE Multilin 760	0,54In	30	1,5In	0,7	2,7In	0,4

Keterangan:

x = tidak diaktifkan

4.5 Koordinasi Rele Diferensial

4.5.1 Koordinasi Rele Diferensial Trafo TR#SB1

TR#SB-1

Spesifikasi Rele :

Manufacturer	: MICOM
Model	: P543
Rasio CT primer (13,8 kV)	: 2000/5
Rasio CT sekunder (33kV)	: 2000/1

Hasil Perhitungan

$$\text{In sisi primer} = \frac{\text{MVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{40 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 10^3} = 1673.48 \text{ A}$$

$$\text{In sisi sekunder} = \frac{\text{MVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{40 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 33 \times 10^3} = 699.82 \text{ A}$$

$$I_1 = 1673.48 \times \frac{5}{2000} = 4.18 \text{ A}$$

$$I_2 = 699.82 \times \frac{1}{2000} = 0.35 \text{ A}$$

Arus rele diferensial saat beban penuh

$$\begin{aligned} I_o &= |I_{fl \text{ sisi } 13.8 \text{ kV}} - I_{fl \text{ sisi } 33 \text{ kV}}| \\ &= |4.18 - 0.35| \\ &= 3.83 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_R (\text{Restrained}) &= |I_{fl \text{ sisi } 13.8 \text{ kV}}| + |I_{fl \text{ sisi } 33 \text{ kV}}| \\ &= \frac{4.18 + 0.35}{2} \\ &= 2.26 \text{ A} \end{aligned}$$

Setting Rele dan Slope

$$\begin{aligned} \%Slope &= \frac{|I_o|}{I_{res}} \times 100\% \\ &= \frac{|3.83|}{2.26} \times 100\% \\ &= 169.47\% \text{ (MICOM P543 Range } 30\% - 150\%) \\ &= \mathbf{170\%} \end{aligned}$$

4.5.2 Koordinasi Rele Diferensial Trafo TR#SB2

TR#SB-2

Spesifikasi Rele :

Manufacturer	: MICOM
Model	: P543
Rasio CT primer (33 kV)	: 2000/1
Rasio CT sekunder (13,8kV)	: 2000/5

Hasil Perhitungan

$$\text{CT Primer} = 2000/1 \text{ A}$$

$$\text{CT Sekunder} = 2000/5 \text{ A}$$

$$\text{In sisi primer} = \frac{\text{MVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{40 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 33 \times 10^3} = 699.82 \text{ A}$$

$$\text{In sisi sekunder} = \frac{\text{MVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{40 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13.8 \times 10^3} = 1673.48 \text{ A}$$

$$I_1 = 699.82 \times \frac{1}{2000} = 0.35 \text{ A}$$

$$I_2 = 1673.48 \times \frac{5}{2000} = 4.18 \text{ A}$$

Arus rele diferensial saat beban penuh

$$\begin{aligned} I_o &= |I_{fl \text{ sisi } 33 \text{ kV}} - I_{fl \text{ sisi } 13.8 \text{ kV}}| \\ &= |0.35 - 4.18| \\ &= 3.83 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_R (\text{Restrained}) &= |I_{fl \text{ sisi } 13.8 \text{ kV}}| + |I_{fl \text{ sisi } 33 \text{ kV}}| \\ &= \frac{0.35 + 4.18}{2} \\ &= 2.26 \text{ A} \end{aligned}$$

Setting Rele dan Slope

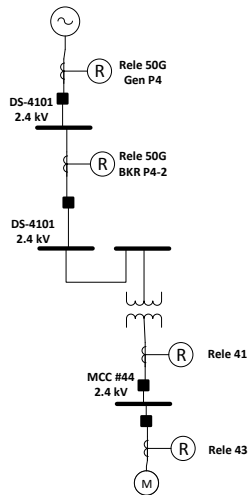
$$\begin{aligned} \% \text{Slope} &= \frac{|I_o|}{I_R} \times 100\% \\ &= \frac{|3.83|}{2.26} \times 100\% \\ &= 169.47\% \text{ (MICOM P543 Range 30\% - 150\%)} \\ &= \mathbf{170\%} \end{aligned}$$

4.6 Koordinasi Rele Arus Gangguan ke Tanah

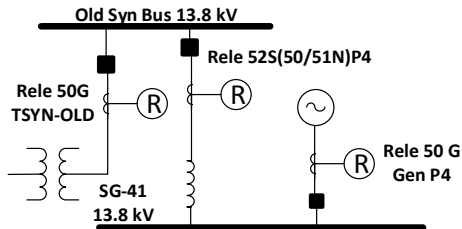
Koordinasi rele arus lebih gangguan tanah di analisa pada Tipikal 1 dan Tipikal 4 dikarenakan Tipikal 1 dapat mewakili Tipikal 2 dan Tipikal 4 dapat mewakili Tipikal 3. Sehingga terdapat dua tipikal yang mewakili keseluruhan tipikal untuk dianalisa.

4.6.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1

Koordinasi Tipikal 1 ini merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari beban beban motor 4209-JCM sampai dengan generator 4006-J dan dilanjutkan ke sekunder trafo Trafo Syn Old melalui *old sync bus*. Tipikal 1 dibagi menjadi Tipikal 1A dan Tipikal 1B untuk mempermudah *setting*. Koordinasi Tipikal ini ditunjukkan oleh Gambar 4.29 sebagai berikut:



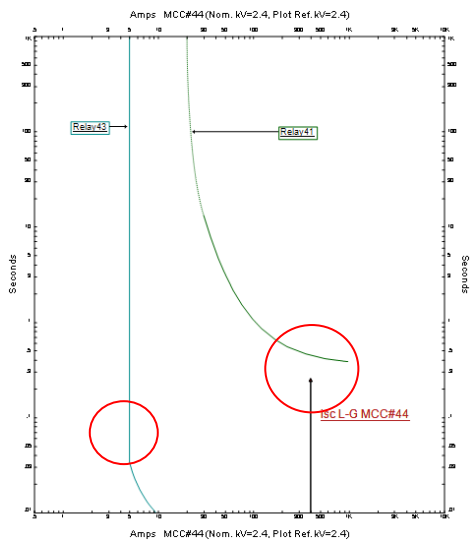
(a)



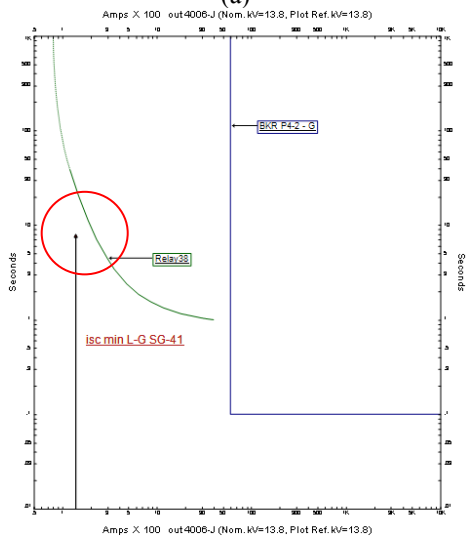
(b)

Gambar 4. 29 (a) Tipikal 1A dan (b) Tipikal 1B

Rele yang dikoordinasikan pada Tipikal 1A adalah Rele 43, Rele 41, Rele 50G BKR P4-2, Rele 50G Gen P4. Pada Gambar 4.30 menunjukkan plot kurva pengaman eksisting:



(a)



(b)

Gambar 4. 30 Plot kurva pengaman untuk eksisting Tipikal 1A dengan (a) Rele 41 serta (b) Rele 50GG BKR P4-2

Pada plot kurva pengaman eksisting tipikal 1A pada Gambar 4.30 terdapat beberapa koordinasi yang kurang baik, sehingga diperlukan reseting untuk memperbaiki koordinasi rele tersebut. Lingkaran merah pada Gambar 4.30 menunjukkan beberapa *setting* yang kurang tepat. Berikut penjabarannya :

1. *Instaneous* Rele 43 tidak bekerja ketika ada gangguan arus hubung singkat L-G pada bus MCC#44.
2. *Instaneous* Rele 41 bekerja terlalu lambat ketika ada gangguan arus hubung singkat L-G pada bus MCC#44.
3. Ketika terjadi arus hubung singkat L-G pada bus DS-4101 Rele 38 akan bekerja lebih cepat daripada Rele 50G BKR P4-2.

Rele 43

Manufacturer : GE Multilin PJC
Curve Type : *Definite Time*
CT Ratio : 50 / 5
 Isc L-G MCC#44 : 0,397 kA (2,4 kV)

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times I_{sc} L - G \leq I_{\gg} \leq 50\% \times I_{sc} L-G \text{ MCC\#44}$$

$$5 - 10\% \times 397 \leq I_{\gg} < 50\% \times 397$$

$$19,85 \leq I_{\gg} \leq 198,5$$

$$\frac{19,85}{50/5} \leq Tap \leq \frac{198,5}{50/5}$$

$$1,985 \leq Tap \leq 19,85$$

Memiliki tap dengan range : 0,5 - 2 dengan sekunder 5 A dan step 0,1 sehingga dipilih tap = 2 A
 dengan $I_{\gg} = 20 \text{ A}$

Rele 41

Manufacturer : GE Multilin IAC-53
Curve Type : *Definite Time*
CT Ratio : 200 / 5
 Isc L-G MCC#44 : 0,397 kA (2,4 kV)

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times I_{sc} L - G \leq I_{\gg} \leq 50\% \times I_{sc} L-G \text{ MCC\#44}$$

$$5 - 10\% \times 397 \leq I_{\gg} < 50\% \times 397$$

$$19,85 \leq I_{\gg} \leq 198,5$$

$$\frac{19,85}{50/5} \leq Tap \leq \frac{198,5}{50/5}$$

$$1,985 \leq Tap \leq 19,85$$

Memiliki tap dengan range : 0,5 - 4 dengan sekunder 5A dan step 0,1 sehingga dipilih tap = 4 A
dengan $I_{\gg} = 160 \text{ A}$

Rele 50G BKR P4-2

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 1000
Curve Type : *Definite Time*
CT Ratio : 600 / 5
Isc L-G DS-4101 : 0,879 kA (13,8 kV)

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times Isc \text{ L - G} \leq I_{\gg} \leq 50\% \times Isc \text{ L-G DS-4101}$$

$$5 - 10\% \times 879 \leq I_{\gg} \leq 50\% \times 879$$

$$43,95 \leq I_{\gg} \leq 439,5$$

$$\frac{43,95}{600} In \leq Tap \leq \frac{439,5}{600} In$$

$$0,073 \leq Tap \leq 0,73$$

Memiliki tap dengan range : 0,5 - 10xCT Sekunder
sehingga dipilih tap = 0,5 In
dengan $I_{\gg} = 300 \text{ A}$

Time Delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

Rele 38

Manufacturer : GE Multilin IAC-53
Curve Type : *Very inverse (53)*
CT Ratio : 200 / 5
Isc L-G SG-41 : 0,796 kA (2,4 kV)

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times Isc \text{ L - G} \leq I_{\gg} \leq 50\% \times Isc \text{ L-G SG-41}$$

$$5 - 10\% \times 796 \leq I_{\gg} \leq 50\% \times 796$$

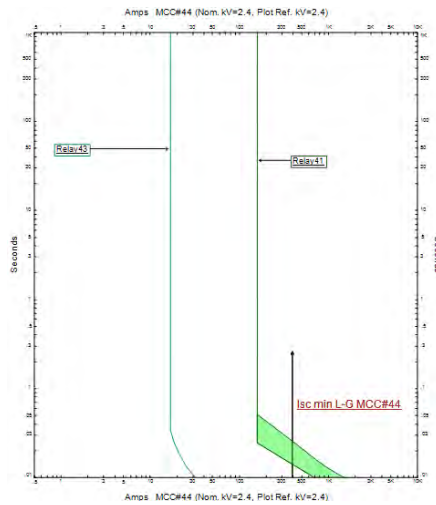
$$3,98 \leq I_{\gg} \leq 398$$

$$\frac{3,98}{200/5} In \leq Tap \leq \frac{398}{200/5} In$$

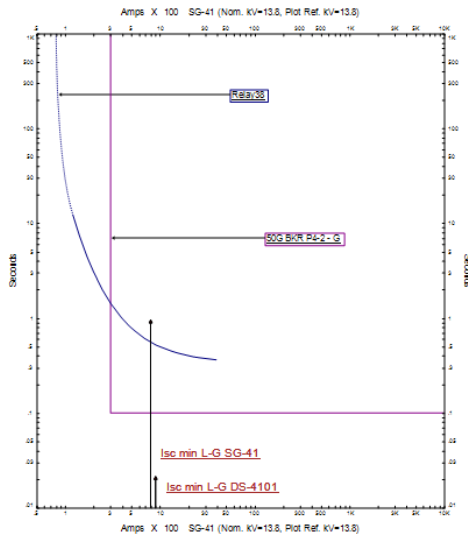
$$0,995 \leq Tap \leq 9,95$$

Memiliki tap dengan range : 0,5 - 4 dengan sekunder 5A dan step 0,1 sehingga dipilih tap = 2A dengan $I_{\gg} = 80$ A

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman. Pada Gambar 4.31 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 1A:



(a)



(b)

Gambar 4. 31 Plot kurva pengaman untuk *resetting* Tipikal 1A dengan (a) Rele 43 dan Rele 41 serta (b) Rele 38 dan Rele 50G BKR P4-2

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.31 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele 43 dan Rele 41 berfungsi sebagai pelindung apabila ada arus hubung singkat L-G pada bus MCC#44.
- Rele 39 dan Rele 38 berfungsi sebagai pelindung apabila ada arus hubung singkat L-G pada bus DS-4101 dan bus SG-41.

Pada Tipikal 1B rele yang dikoordinasikan pada Tipikal 1B adalah Rele 38, Rele 52S (50/51N)P4, Rele 50G Tsyn-Old.

Dilakukan perhitungan manual untuk mendapatkan *setting* yang tepat. Berikut perhitungan manual dari Tipikal 1B:

Rele 38

Perhitungan Rele 38 sama seperti pada tipikal 1A

Rele 52S (50/51N)P4

Manufacturer : GE Multilin 760

Curve Type : *Definite time*

CT Ratio : 800 / 5
 Isc L-G kontribusi ke syn bus old : 0,873 kA

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times \text{Isc } L - G \leq I_{\gg} \leq 50\% \times \text{Isc } L-G$$

$$5 - 10\% \times 873 \leq I_{\gg} \leq 50\% \times 873$$

$$43,65 \leq I_{\gg} \leq 436,5$$

$$\frac{43,65}{800} In \leq Tap \leq \frac{436,5}{800} In$$

$$0,054 In \leq Tap \leq 0,54 In$$

memiliki tap dengan range 0.01- 15 dengan step 0.1

sehingga dipilih tap = 0,1 In

dengan Iset = 80 A

Time delay

sehingga dipilih time delay = 0,4 detik

Rele 50G Tsyn-Old

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : Definite time

CT Ratio : 100 / 5

Isc L-G : 1590 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times \text{Isc } L - G \leq I_{\gg} \leq 50\% \times \text{Isc } L-G$$

$$5 - 10\% \times 1590 \leq I_{\gg} \leq 50\% \times 1590$$

$$7,95 \leq I_{\gg} \leq 795$$

$$\frac{7,95}{100} In \leq Tap \leq \frac{79,5}{100} In$$

$$0,79 In \leq Tap \leq 7,95 In$$

memiliki tap dengan range 0.01- 15 dengan step 0.1

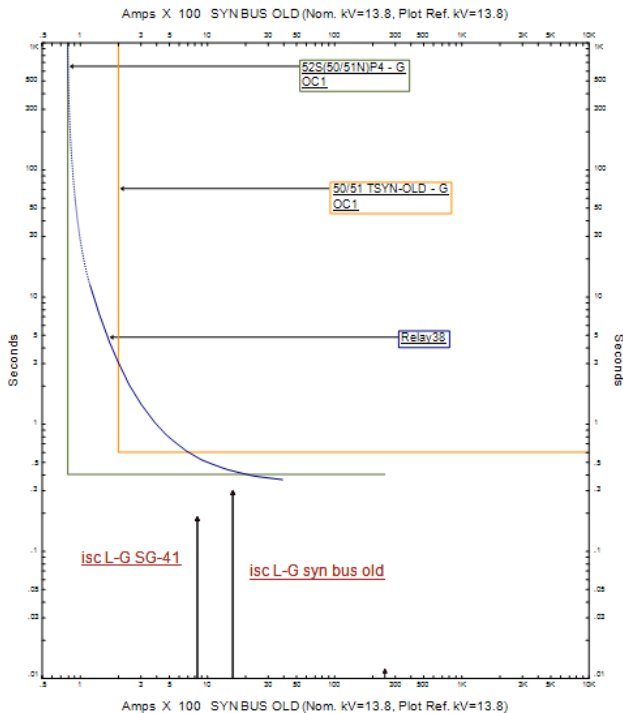
sehingga dipilih tap = 2 In

dengan Iset = 200 A

Time delay

Dipilih time delay = 0,6 detik

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka dibuat plot kurva koordinasi pengaman. Pada Gambar 4.32 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 1B:



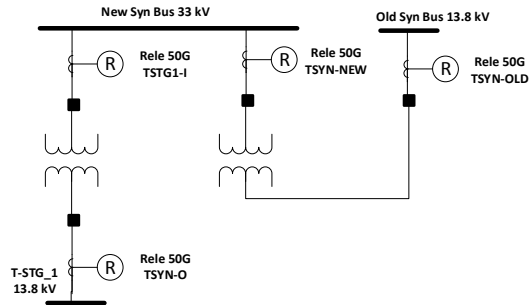
Gambar 4. 32 Plot kurva pengaman untuk kondisi *resetting* Tipikal 1B

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.32 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele 38, Rele 52S (50/51N)P4, Rele 50/51 Tsyn-Old bekerja ketika ada arus hubung singkat L-G pada old syn bus dan SG-41.

4.6.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 4

Koordinasi Tipikal 4 ini merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari sisi sekunder dari TR#SB-1 sampai sekunder trafo TR#SB-2 yang menghubungkan *new syn bus* dan *old syn bus*. Koordinasi Tipikal ini ditunjukkan oleh gambar 4.33 sebagai berikut:



Gambar 4. 33 Koordinasi Proteksi Tipikal 4

Pada Tipikal 4 ini, rele yang dikoordinasikan adalah Rele 50G TSYN-OLD, Rele 50G TSYN-NEW, Rele 50G TSTG1-I, Rele 50G TSYN-O. Plot kurva koordinasi pengaman dibuat pada software simulasi setelah dilakuakn perhitungan manual. Perhitungan manual untuk Tipikal 4 ini dijabarkan sebagai berikut:

Rele 50G TSYN-OLD

Perhitungan Rele 50G TSYN-OLD sama seperti pada tipikal 1B

Rele 50/51 TSYN-NEW

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 80
 Curve Type : *Definite time*
 CT Ratio : 100 / 5
 Isc L-G : 100 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times I_{sc} L - G \leq I_{\gg} \leq 50\% \times I_{sc} L - G$$

$$5 - 10\% \times 100 \leq I_{\gg} \leq 50\% \times 100$$

$$5 \leq I_{\gg} \leq 50$$

$$\frac{5}{100} In \leq Tap \leq \frac{50}{100} In$$

$$0,05 In \leq Tap \leq 0,5 In$$

memiliki tap dengan range 0.01 - 15, dengan step 0.1

sehingga dipilih tap = 0.2 In

dengan Iset = 20 A

Time delay

Dipilih *time delay* = 0,1 detik

Rele 50G-TSTG1-I

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 80
Curve Type : *Definite time*
CT Ratio : 100 / 5
Isc L-G : 100 A

Instantaneous Pickup

$5 - 10\% \times I_{sc} L - G \leq I_{\gg} \leq 50\% \times I_{sc} L - G$

$5 - 10\% \times 100 \leq I_{\gg} \leq 50\% \times 100$

$5 \leq I_{\gg} \leq 50$

$\frac{5}{100} In \leq Tap \leq \frac{50}{100} In$

$0,05 In \leq Tap \leq 0,5 In$

memiliki tap dengan range 0.01 - 15, dengan step 0.1

sehingga dipilih tap = 0.2 *In*

dengan Iset = 20 A

Time delay

Dipilih *time delay* = 0,1 detik

Rele 50G-TSYN-O

Manufacturer : Merlin Gerin Sepam 40
Curve Type : *Definite time*
CT Ratio : 100 / 5
Isc L-G : 100 A

Instantaneous Pickup

$5 - 10\% \times I_{sc} L - G \leq I_{\gg} \leq 50\% \times I_{sc} L - G$

$5 - 10\% \times 100 \leq I_{\gg} \leq 50\% \times 100$

$5 \leq I_{\gg} \leq 50$

$\frac{5}{100} In \leq Tap \leq \frac{50}{100} In$

$0,05 In \leq Tap \leq 0,5 In$

memiliki tap dengan range 0.01 - 15, dengan step 0.1

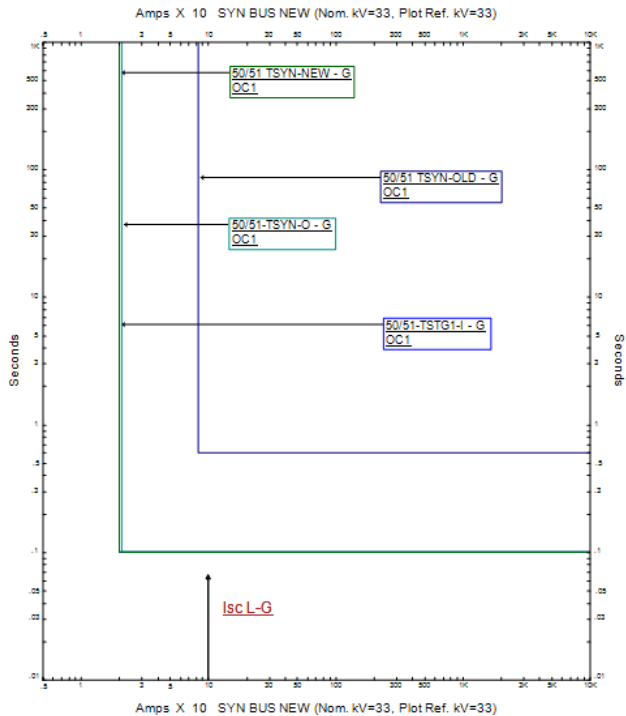
sehingga dipilih tap = 0.5 *In*

dengan Iset = 50 A

Time delay

Dipilih *time delay* = 0,1 detik

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka di buatlah plot kurva koordinasi pengaman. Berikut pada Gambar 4.34 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan *setting* dari tipikal 4 setelah *setting*:



Gambar 4. 34 Plot kurva pengaman untuk kondisi *setting* Tipikal 4

Setelah dilakukan perhitungan manual seperti pada tipikal-tipikal yang telah dipilih, dapat dibuat tabel eksisting dan *resetting* serta dilakukan *setting* pada tipikal rele arus lebih yang lainnya. Hasil *setting* dan *resetting* ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 5 Tabel eksisting dan *resetting* rele gangguan ke tanah

Rele ID	Manufacture	Eksisting		Resetting	
		I>	t>	I>	t>
Rele 43	GE Multilin PJC	0,5A	x	2 A	x
Rele 41	GE Multilin IAC-53	0,5A	4	4 A	x
50G BKR P4-2	Merlin Gerin Sepam 1000	10In	0,02	0,5In	0,1
Rele 38	GE Multilin IAC-53	2A	10	2 A	x
52S(50/51 N)P4	GE Multilin 760	x	x	0,1In	0,4
50G Tsyn-Old	Merlin Gerin S80	x	x	2In	0,6
50G Tsyn-New	Merlin Gerin S80	x	x	0,2In	0,1
50G-TSTG1-I	Merlin Gerin S80	x	x	0,2In	0,1
50G-TSYN-O	Merlin Gerin S40	x	x	0,5In	0,1

Keterangan:

x = tidak diaktifkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Std 242-2001™, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
- [2] Charles J. Mozina, Life Fellow IEEE, *Why Upgrade the Protection and Grounding of Generators at Petroleum and Chemical Plants?*, Februari 2012
- [3] Lazar, Irwin. “Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants”, McGraw-Hill, Inc, 1980
- [4] Cahier Technique No. 158, “*Calculation of Short-circuit Currents*”, Schneider Electric, 2005.
- [5] Saadat, H., “*Power System Analysis*”, McGraw-Hill, Inc, 1999
- [6] Manohar Singh, B.K. Panigrahi and A. R. Abhyankar, IEEE, *Combined Optimal Distance to Overcurrent Relay Coordination* 2012
- [7] Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [8] Trip Curve, “*IEC-SIT-SIT-A-10PU_I*”, Schneider Electric, 2008
- [9] Penangsang, Ontoseno. “*Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya.

----Halaman ini sengaja dikosongkan----

Bab 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa pada koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah pada PT Pupuk Sriwijaya (PT Pusri) Palembang, dapat disimpulkan bahwa:

1. Koordinasi proteksi untuk rele arus lebih dan rele gangguan ketanah harus di *setting* ulang setelah terjadi sinkronisasi dengan jaringan pabrik baru yakni Pabrik P2B.
2. Kesalahan koordinasi pada sistem eksisting rata-rata terletak pada *setting time dial* dan *time delay*. Kondisi *setting* pada eksisting tidak memenuhi standar setelah dilakukan sinkronisasi dengan jaringan pabrik baru, seperti pada Rele INC MCC#59, Rele BKR P1B-8, Rele BKR P4-2.
3. Kurva Rele INC MCC#44 dan Rele Feeder 4209-JCM pada kondisi eksisting memotong kurva Motor 4209-JCM.
4. *Setting* pada rele gangguan ke tanah cenderung mengabaikan NGR yang ada dan memakai kurva non definite seperti inverse.
5. Pada Rele 50/51-TSYN-NEW menggunakan CT 2000/1, sedangkan Rele 50/51-TSYN-OLD menggunakan CT 2000/5 untuk *sensing* arus. Hal ini mengakibatkan rele diferensial pada TR#SB1 memiliki nilai *slope* pada perhitungan manual berbeda dengan *range slope* di lapangan, pada perhitungan manual didapatkan nilai 170% sedangkan di lapangan *range* maksimum pada 150%.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diberikan, penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Melakukan *resetting* untuk membuat koordinasi proteksi pada PT Pusri dapat sesuai dengan standar yang berlaku.
2. Perhitungan manual yang telah dilakukan dan plot kurva *resetting* yang telah dibuat sudah bekerja sesuai dengan standar yang berlaku.
3. *Setting* pada rele gangguan ke tanah memakai kurva definite.
4. Menambahkan Z CT pada rele gangguan ke tanah untuk menambah selektifitas.

5. Mengganti CT yang dipergunakan untuk *sensing* oleh Rele 50/51-TSYN-OLD menjadi 2000/1 agar rele diferensial dapat berfungsi dengan baik dan dapat di *setting* sesuai dengan *slope* yang sesuai.

BIOGRAFI PENULIS



Maya Prananda Sari, lahir di Surabaya pada tanggal 15 Mei 1993. Penulis merupakan anak sulung dari Prasetyo Wahyudie dan Vita Ratnasari. Penulis mulai memasuki pendidikan sekolah dasar pada tahun 1999 di SD Khadijah 2 Surabaya, kemudian melanjutkan pendidikan menengah dasar di SMPN 3 Surabaya pada tahun 2005. Pada tahun 2008 penulis melanjutkan studi di SMAN 5 Surabaya. Selama sekolah penulis telah aktif di organisasi ekstrakurikuler basket di SMP dan SMA. Pada tahun 2011 penulis mulai memasuki jenjang pendidikan tinggi di

bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa Bola Basket pada tahun 2011-2012 kemudian mendapat amanah untuk menjadi bendahara di Unit Kegiatan Mahasiswa Robotika semasa berkuliah di ITS, penulis juga aktif di beberapa kepanitiaan seperti LCEN, ELECTRA, dan Rektor Cup. Selain itu, penulis juga aktif sebagai asisten di Laboratorium Instrumentasi, Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Penulis dapat dihubungi melalui email : maya.prananda@yahoo.com